



Universidade Estadual do Piauí–UESPI
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação–PROP
Programa de Mestrado Profissional em
Matemática em Rede Nacional



O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e
suas aplicações no ajuste de curva: relação
entre casos confirmados e casos notificados de
COVID-19 no município de Barra do
Corda-MA.

Milton Soares da Silva Júnior

Teresina

2023

Milton Soares da Silva Júnior

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e suas aplicações no ajuste de curva: relação entre casos confirmados e notificados de COVID-19 no município de Barra do Corda-MA.

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão Acadêmica Institucional do PROFMAT-UESPI como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Matemática.

Área de Concentração: Ensino de Matemática

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Silva Brito

Teresina
2023

S586m Silva Júnior, Milton Soares da.
O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) e suas aplicações no ajuste de curva: relação entre casos confirmados e casos notificados de COVID-19 no município de Barra do Corda – MA / Milton Soares da Silva Júnior. – 2023.
54 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Piauí – UESPI, Programa de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional (PROFMAT), *Campus* Poeta Torquato Neto, Teresina-PI, 2023.
“Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Silva Brito.”

1. COVID-19. 2. Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).
3. Modelagem Matemática. 4. Ajuste de Curva. I. Título.

CDD: 510.07

MILTON SOARES DA SILVA JUNIOR

O MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS (MMQ) E SUAS APLICAÇÕES NO AJUSTE DE CURVA: RELAÇÃO ENTRE CASOS CONFIRMADOS E CASOS NOTIFICADOS DE COVID-19 NO MUNICÍPIO DE BARRA DO CORDA – MA.

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional – PROFMAT, da Universidade Estadual do Piauí – UESPI, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Matemática.

Área de Concentração: Ensino de Matemática

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Silva Brito

Aprovada em: 03/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ARNALDO SILVA BRITO**
Data: 16/11/2023 12:53:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Arnaldo Silva Brito
(PROFMAT/UESPI. Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE BEZERRA DO NASCIMENTO LIMA**
Data: 17/11/2023 19:46:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alexandre Bezerra do Nascimento Lima
(PROFMAT/UESPI. Membro interno)

Documento assinado digitalmente
 **DIEGO FERREIRA GOMES**
Data: 17/11/2023 20:53:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diego Ferreira Gomes
(IFMA. Membro externo)

AGRADECIMENTOS

À nosso bom Deus pela misericórdia infinita.

Aos meus pais, Maria Geronça e Milton Soares, pelo amor incondicional, apoio, acolhimento e preocupação.

À minha amadíssima esposa, Luana Oliveira, e meus filhos, Olga e Bernardo, que estiveram comigo ao longo dessa jornada sempre me apoiando e cuidando para que eu pudesse me dedicar a essa conquista.

Ao meu orientador, Arnaldo de Brito, pelos conselhos e disponibilidade.

Aos meus irmãos pela compreensão, paciência e cumplicidade e que também foram fundamentais ao decorrer dessa jornada.

Ao meu amigo, Diego Ferreira Gomes, pelo auxílio na elaboração e execução do projeto que foi crucial para a criação desse trabalho.

Aos meus colegas de curso do PROFMAT pelos momentos de estudo, disponibilidade de tempo, reuniões, cafés com bolo e ajudas ao decorrer do curso.

A todos os professores que ministraram as disciplinas no PROFMAT e deram sua contribuição para cumprimento dessa jornada.

Aos membros da banca examinadora (titulares e suplentes), pelas contribuições para a melhoria do trabalho.

RESUMO

Este trabalho é resultado de um projeto que visou estudar a relação entre o número de casos confirmados acumulados diários versus número de casos notificados acumulados diários do Município de Barra do Corda e modelar essa relação usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Um estudo prévio de alguns aspectos da COVID-19 foi realizado com o intuito de contextualizar e compreender características da doença, transmissão e coleta de dados. Além disso, foi discutida a importância da modelagem matemática para as tomadas de decisões na resolução de problemas como a contenção da pandemia, por exemplo. Os dados presentes nesta análise foram gerados e disponibilizados através de boletins disponibilizados pela secretaria de saúde da prefeitura da cidade. Para a compreensão da escolha desse método, seu desenvolvimento e aplicabilidade no problema, foi realizado um estudo teórico prévio que envolveu conteúdos matemáticos tais como vetores no \mathbb{R}^n , matrizes e sistemas lineares. Ferramentas computacionais foram utilizadas na construção do diagrama de dispersão de dados e na resolução do método. Os dados coletados, bem como os resultados obtidos, foram discutidos e analisados ao final do projeto.

Palavras-chave: COVID-19; Modelagem Matemática; Método dos Mínimos Quadrados (MMQ); Ajuste de Curva.

Abstract

This work is the result of a project that aimed to study the relationship between the number of confirmed cases daily accumulated versus the number of notified cases also daily accumulated, and to module this relationship using the Least Squares Method (LSM). It was realized in a town named Barra do Corda in the state of Maranhão - Brazil. A prior study of some aspects of Covid-19 will be carried out in order to contextualize and understand the characteristics of the disease, transmission and data collection. In addition it will be discussed the importance of mathematic modeling for decision making, involving the solving of the problem as in the containment of the pandemic, for instance. The data present in this analysis were generated and made available through reports which were also made available by the city health department of Barra do Corda. To understand the choice of this method, its development and applicability in the problem, it will be performed a previous theoretical study that involves mathematical contents such as vectors R , matrices and linear systems. Computational tools will be used in the construction of the data dispersion diagram as well as in the resolution of the method. The data collected and the results obtained, will be discussed and analyzed at the end of the project.

Key words: COVID-19; Mathematic Modeling; Least Squares Method (LSM); Curve Adjustment.

Lista de Figuras

1	Dados coletados a partir dos boletins epidemiológicos de coronavírus no município de Barra do Corda, Maranhão.	33
2	Gráfico de dispersão entre o número de casos notificados acumulados e o número de casos confirmados ao dia.	34
3	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).	35
4	Polinômio de 2 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).	36
5	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.	37
6	Polinômio de 2 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.	38
7	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o MMQ.	39
8	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.	40
9	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o MMQ.	40
10	Polinômio de 1 ^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.	41

Lista de Tabelas

1	Comparativo entre as curvas encontradas que melhor se aproximam dos dados separados para ajuste e os valores separados para validação.	35
2	Correlação de Pearson entre as variáveis.	37

Sumário

1	Introdução	11
2	Modelagem Matemática e Surgimento da COVID-19	14
2.1	Modelagem Matemática	14
2.2	Surgimento da COVID-19	18
3	Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	22
3.1	Fundação do método	22
3.2	Detalhamento matemático do MMQ	24
3.2.1	Noções preliminares	24
3.2.2	Fundamentação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)	26
3.3	Método dos Mínimos Quadrados: ajuste de curvas	29
3.3.1	Ajuste linear	29
3.3.2	Ajuste quadrático	30
4	Materiais e Métodos	32
5	Análise e Discussão dos Resultados	33
6	Considerações Finais	42
	Referências	44
	Anexos	47

1 Introdução

A COVID-19 é uma doença causada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2 que foi identificado em Wuhan na China em dezembro de 2019 (Brasil, 2021). A doença espalhou-se de forma rápida para os demais continentes com transmissão sustentada de pessoa para pessoa e, conseqüentemente, foi classificada como pandemia pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11 de março de 2020 (Schueler, 2020; Werneck, Carvalho, 2020).

A alta taxa de transmissão, a gravidade dos sintomas em parte dos infectados, a falta de medicamentos eficazes para o tratamento da doença e a inexistência de vacina no início da pandemia fez com que diversas autoridades políticas e científicas mundiais optassem pelo distanciamento social como medida de prevenção e contenção da pandemia (Souza, 2020).

A necessidade do distanciamento social alterou as dinâmicas sociais e econômicas mundiais e mobilizou a comunidade científica de diversas áreas do conhecimento a concentrar suas pesquisas em torno de aspectos da doença e suas conseqüências diretas e indiretas na sociedade (Souza, 2020). As possíveis alterações do cenário da pandemia são conseqüência das medidas de contenção que levam a alterações nas diversas e complexas variáveis do problema. Neste sentido, os modelos matemáticos considerados para a COVID-19 auxiliam na compreensão de aspectos gerais e/ou particulares da transmissão da doença e ajudam a prever situações futuras.

A modelagem matemática busca a utilização da linguagem matemática para se aproximar de situações reais com o objetivo de melhor compreendê-las e interpretá-las. Bassanezi (2002) pontua em sua obra: “[...] o objetivo fundamental do “uso” de matemática é de fato extrair a parte essencial da situação-problema e formalizá-la em um contexto abstrato onde o pensamento possa ser absorvido com uma extraordinária economia de linguagem.”

Andrews, McLone (1976) afirmam que “um modelo matemático é um constructo matemático abstrato, simplificado que representa uma parte da realidade com algum objetivo particular.”

Os modelos matemáticos podem ser mais simples ou mais complexos, de acordo com a parte da realidade que representamos ou o objetivo do estudo (Bassanezi, 2015).

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), uma ferramenta muito conhecida na ciência, é utilizada para determinar uma curva que melhor se aproxima dos dados desejados (Watkins, 2010). Segundo Rooney (2012), o MMQ foi proposto em 1805 pelo matemático francês Adrien-Marie Legendre (1752-1833). Legendre considerou valores que minimizam as somas dos quadrados dos desvios. Tal método se tornou uma das principais ferramentas dos estatísticos no século XIX e pode ser aplicado a diversos campos do conhecimento.

Para o desenvolvimento e dedução desse método utiliza-se conceitos matemáticos

acessíveis e factíveis para os estudantes do ensino médio (Cunha, 2014; Silva, 2020; Silva, 2014). Pretendeu-se com esse trabalho motivar o estudo e aplicação da matemática para modelar uma situação real, propondo uma solução matemática viável que sirva para se antecipar a acontecimentos futuros.

Em diversas situações-problema, observa-se o interesse em investigar se duas ou mais variáveis estão relacionadas de alguma forma. Nesse trabalho, houve o interesse em investigar a relação entre duas variáveis: casos notificados acumulados e casos confirmados acumulados de COVID-19, registrados no município de Barra do Corda - MA, motivado pelo aumento descontrolado de casos da doença e ausência de um protocolo de contenção para tal situação. Os resultados poderão ser úteis para a saúde pública local no sentido de possibilitar uma previsão do número de casos confirmados de COVID-19 a partir das notificações. Essa previsão poderá auxiliar a gestão municipal a se preparar e desenvolver algum tipo de protocolo para o que poderia ser uma demanda inesperada futuramente.

Dessa forma, fez-se necessário coletar dados de casos de COVID-19 no município de Barra do Corda com o intuito de compreender a importância da modelagem matemática na análise e interpretação dos dados para a tomada de decisões e na adoção de políticas públicas de controle sanitário.

No capítulo *Modelagem Matemática e Surgimento da COVID-19*, faremos inicialmente uma abordagem do ensino de matemática, enfatizando o emprego da modelagem matemática como ferramenta de resolução de problemas apoiada nas três componentes fundamentais *Conceituação, Manipulação e Aplicação*, conforme Lima (2007) cuja compreensão e articulação adequada entre si permitem que os alunos desenvolvam de forma satisfatória o saber-fazer matemático.

Além disso, há a concepção de modelagem matemática, sendo, portanto, abordada nas seguintes etapas: escolha de tema, coleta de dados, análise de dados e formulação de modelos e validação a fim de converter uma situação matemática real em um modelo matemático em que seja analisado e proposta uma solução matemática plausível, segundo (Bassanezi, 2015).

Articulada a essa concepção, tem-se a prática e execução de projetos que possibilita uma proposta de ensino aprendizagem mais atrativa e integradora, uma vez que apresenta a matemática em suas diversas facetas, tornando-a mais acessível e paupável aos alunos.

Ainda no capítulo *Modelagem Matemática e Surgimento da COVID-19*, abordaremos de forma resumida a origem da COVID-19 transmitida pelo vírus Sars-CoV-2 que possui uma alta taxa transmissibilidade e cuja detecção ocorreu em Wuhan, na China, em dezembro de 2019, a partir de vários casos de uma pneumonia atípica que se espalhou rapidamente entre os continentes com transmissão entre seres humanos.

No capítulo *Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)*, teremos, a princípio, a apresentação histórica a respeito do desenvolvimento do referido método cujas aplicações vão

desde campos como Astronomia à Geodésia com contribuições de alguns matemáticos como Roger Cotes em 1722, Tobias Mayer em 1750 e Pierre Simon Laplace em 1788, sendo, portanto, creditado ao matemático francês Adrien Marie Legendre (1752-1833) que o propôs em 1805.

Posteriormente, há a apresentação de algumas noções preliminares de Álgebra Linear (produto escalar, espaços vetoriais e subespaços vetoriais) que deram suporte para a fundamentação do método embasado em escolher coeficientes tais que minimizem a soma dos quadrados dos desvios dados pontos tabelados e funções escolhidas segundo algumas condições.

Apresentaremos o método dos mínimos quadrados associado à regressão ou ajuste de curvas como um recurso formal para expressar a relação entre uma variável dependente e outra independente. Nessa perspectiva, trabalha-se com os ajustes linear (função afim) e o ajuste quadrático (função quadrática).

No capítulo *Materiais e Métodos*, faremos o detalhamento dos materiais manuseados na pesquisa que originou o trabalho: 120 boletins epidemiológicos da Secretaria Municipal de Saúde de Barra do Corda-MA e os softwares Microsoft Excel[®], GNU Octave[®] e GeoGebra Classic 6[®] para organização e análise dos dados.

No capítulo *Análise e Discussão dos Resultados*, apresentaremos o tabelamento dos dados retirados dos 120 boletins epidemiológicos através do software Microsoft Excel[®] com a disposição de tais dados tabelados em gráficos de dispersão (relação entre número de casos notificados acumulados e casos confirmados diários), tabela de correlação (relação entre as variáveis número de casos notificados confirmados, infectados, óbitos e recuperados) e ajustes polinomiais de 1^o e 2^o graus para as variáveis casos notificados e confirmados.

2 Modelagem Matemática e Surgimento da COVID-19

Inicialmente é apresentada uma breve contextualização sobre a representatividade da modelagem matemática e como ela é crucial para a compreensão, ajuste e resolução de situações-problema que acontecem naturalmente. Em seguida, é abordada a origem do vírus SARS-CoV-2 e evolução da pandemia de COVID-19, tendo como principal questionamento a transmissibilidade do vírus para seres humanos.

2.1 Modelagem Matemática

Ensinar matemática sempre se mostrou desafiador ao longo da história, uma vez que esta ciência é vista como uma área complexa e repleta de expressões muitas vezes indecifráveis e sem utilidade prática aparente. Logo, dá-se a entender que deve-se ensinar matemática com pouca matemática ou quase nenhuma matemática. Nesse sentido, modelar situações reais e as converter utilizando linguagem matemática se mostra mais atrativo aos olhos dos discentes, já que eles podem observar o fenômeno, analisar os padrões presentes e os traduzir utilizando uma linguagem matemática adequada.

"A modelagem matemática, percebida como estratégia de ensino, apresenta fortes conexões com a idéia de resolução de problemas [...]. Ante uma situação-problema ligada ao "mundo real", com sua inerente complexidade, o aluno precisa mobilizar um leque variado de competências: selecionar variáveis que serão relevantes para o modelo a construir; problematizar, ou seja, formular o problema teórico na linguagem do campo matemático envolvido; formular hipóteses explicativas do fenômeno em causa; recorrer ao conhecimento matemático acumulado para a resolução do problema formulado, o que, muitas vezes, requer um trabalho de simplificação quando o modelo originalmente pensado é matematicamente muito complexo; validar, isto é, confrontar as conclusões teóricas com os dados empíricos existentes; e eventualmente ainda, quando surge a necessidade, modificar o modelo para que esse melhor corresponda à situação real, aqui se revelando o aspecto dinâmico da construção do conhecimento."(BRASIL, 2006, v.2, p. 84 e 85).

Dessa forma, transformar um problema real em problema matemático, utilizando as estratégias de ensino apropriadas, se mostra uma ferramenta poderosa para fazer com que os alunos se apropriem de forma mais efetiva dos saberes matemáticos estudados em sala de aula e sendo, portanto, uma proposta alternativa para trabalhar tais saberes matemáticos com mais profundidade, praticidade e eficiência.

Além disso, apresenta um componente lúdico visto que os alunos terão a possibilidade de interpretar a proposta como um jogo em que se objetiva encontrar as ferramentas adequadas para transformação de um problema real em problema matemático, transpondo a barreira de ser um problema exclusivamente matemático e passando a articular com outras áreas do conhecimento.

Para realizar de forma satisfatória a modelagem matemática há de se considerar a utilização dos seguintes entes dentro do ensino de matemática: conceituação, manipulação e aplicação. Portanto, tem-se a construção das definições de forma sólida e robusta, o manuseio adequado de expressões algébricas a fim de dar o suporte necessário para a análise, verificação e construção do padrão matemático presente e finalmente a exemplificação do que foi definido através das expressões matemáticas propostas.

Segundo Lima (2007)

“A fim de familiarizar gradativamente os alunos com o método matemático, dotá-los de habilidades para lidar desembaraçadamente com os mecanismos do cálculo e dar-lhes condições para mais tarde saberem utilizar seus conhecimentos em situações da vida real, o ensino da Matemática deve abranger três componentes fundamentais, que chamaremos de Conceituação, Manipulação e Aplicações. Da dosagem adequada de cada uma dessas três componentes depende o equilíbrio do processo de aprendizagem, o interesse dos alunos e a capacidade que terão para empregar futuramente, não apenas as técnicas aprendidas nas aulas, mas sobretudo o discernimento, a clareza das idéias, o hábito de pensar e agir ordenadamente, virtudes que são desenvolvidas quando o ensino respeita o balanceamento das três componentes básicas. Elas devem ser pensadas como um tripé de sustentação: as três são suficientes para assegurar a harmonia do curso e cada uma delas é necessária para ao seu bom êxito.”

Dessa forma, o aluno trabalharia em três vertentes interligadas e harmônicas, sendo responsável, portanto, por uma parcela considerável do saber matemático, iniciando com a conceituação em que a formalização adequada e precisa de definições, através da concatenação correta e consistente de ideias, acarretaria na construção de argumentos sólidos para adentrar com maestria nas aplicações (utilização de todo escopo matemático para resolução das situações apresentadas), sem esquecer de passar antes pela manipulação onde a consistência adquirida na conceituação daria todo suporte para realização da parte operacional do processo que é de caráter quase que exclusivamente algébrico.

"A conceituação compreende a formulação correta e objetiva das definições matemáticas, o enunciado preciso das proposições, a prática do raciocínio dedutivo, a nítida conscientização de que conclusões sempre são provenientes de hipóteses que se admitem, a distinção entre uma afirmação e sua recíproca, o estabelecimento de conexões entre conceitos diversos, bem como a interpretação e a reformulação de ideias e fatos sob diferentes formas e termos. A manipulação, de caráter principalmente algébrico, está associada à habilidade e a destreza no manuseio de equações, fórmulas e construções geométricas elementares, o desenvolvimento de atitudes mentais automáticas, verdadeiros reflexos condicionados, permite ao usuário da Matemática concentrar sua atenção consciente nos pontos realmente cruciais, poupando-lhe a perda de tempo e energia com detalhes secundários. As aplicações são empregos das noções e teorias da Matemática para obter resultados, conclusões e previsões em situações que vão desde problemas triviais de dia a dia a questões mais sutis que surgem noutras áreas, quer científicas, quer tecnológicas, quer mesmo sociais. As aplicações constituem a principal razão pela qual o ensino da Matemática é tão difundido e necessário, desde os primórdios da civilização até os dias de hoje e certamente cada vez mais no futuro. Como as entendemos, as aplicações do conhecimento matemático incluem a resolução de problemas, essa arte intrigante que, por meio de desafios, desenvolve a criatividade, nutre a auto-estima, estimula a imaginação e recompensa o esforço de aprender."(LIMA, 2007, p. 154 e 155)

Vale ressaltar que as componentes apresentadas, quando bem equilibradas, são cruciais para que o aluno seja capaz de compreender corretamente conceitos matemáticos que incorrem satisfatoriamente no entendimento das etapas da modelagem matemática na sua integralidade. Nesse sentido, havendo alguma incongruência como excesso de manipulação (recorrência constante ao algebrismo em que são utilizados números fracionários, radicais, sistemas de equações, identidades trigonométricas, *etc.*) e/ou aplicações inadequadas (desconexas da vida real) há uma grande possibilidade de que o apredizado seja inconsistente e apresente diversas lacunas. Para LIMA (2007),

"A manipulação é, das três, a componente mais difundida nos livros-texto adotados em nossas escolas. Conseqüentemente, abundam nas salas de aula, nas listas de exercícios e nos exames as operações com elaboradas frações numéricas ou algébricas, as identidades trigonométricas e vários outros tipos de questões que, embora necessárias para o adestramento dos alunos, não são motivadas, não provêm de problemas reais, não estão relacionadas com a vida atual, nem com as demais ciências e nem mesmo com outras áreas da Matemática. As aplicações constituem para muitos alunos de nossas escolas, a parte mais atraente (ou menos cansativa) da Matemática que estudam. Se forem formuladas adequadamente, em termos realísticos ligados a questões e fatos da vida atual, elas podem justificar o estudo, por vezes árido, de conceitos e manipulações, despertando o interesse da classe."

Outra forma, seria enxergar a modelagem matemática como uma forma de converter problemas reais em matemáticos, apresentando soluções com a linguagem do co-

tidiano, ou seja, tendo as seguintes etapas simplificadas do processo de modelagem: (i) apresentação da situação real; (ii) conversão da situação real em problema matemático; (iii) proposição de solução para o problema matemático; (iv) adequação da solução do problema matemático ao problema real. Dessa forma, segundo BASSANEZI (2015)

"A modelagem matemática consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real. Ou seja, a modelagem matemática é um processo de representação de problemas do mundo real em termos matemáticos, na tentativa de encontrar soluções para os problemas. Um modelo matemático pode ser considerado como uma simplificação ou abstração de um (complexo) problema ou situação de mundo real numa forma matemática, convertendo, assim, o problema real em um problema matemático. O problema matemático pode então ser resolvido utilizando quaisquer técnicas conhecidas para se obter uma solução matemática. Esta solução é, assim, interpretada e traduzida em termos reais."

Nesse sentido, ainda conforme BASSANEZI (2015), o início da modelagem acontece com a *escolha do tema* em que se elenca um assunto de estudo abrangente em todos os sentidos; após escolher o tema, tem-se a *coleta de dados* cujo objetivo é encontrar informações relativas ao assunto estudado que pode ocorrer de diversas formas (entrevistas, pesquisas realizadas com métodos de amostragem aleatória, pesquisas bibliográficas, experiências programadas, ...). É importante ressaltar que os dados coletados podem ser dispostos em instrumentos que possibilitem sua análise de forma mais eficiente, como tabelas e gráficos; em seguida, chega-se a *análise de dados e formulação de modelos* cuja procura por um modelo matemático que valide os dados coletados é crucial para compreensão de como acontece a variação das variáveis analisadas no fenômeno estudado; através da *validação* há o momento cuja aceitação ou rejeição do modelo ocorre, sendo, portanto, imprescindível um comparativo entre os dados reais e os valores obtidos no modelo, assim como é fundamental a criação de um modelo simples que permita ter o entendimento pleno do problema a fim de verificar aspectos relevantes do fenômeno que se ajustam ao modelo. Dessa forma, pode-se destacar que o comparativo entre dados modelados e experimentais são importantes para a validação ou refutação de um modelo matemático.

Ainda segundo BASSANEZI (2015), há imensas vantagens em se trabalhar a modelagem matemática sob a ótica multidisciplinar, uma vez que, para fins de pesquisa, há avanços consideráveis em outras áreas como Biologia (com a utilização de modelos para explanar processos biológicos), Química, Física, Astrofísica (ciências cujo emprego da matemática ocorre naturalmente), entre outras.

Em outra perspectiva, tem-se que a prática de modelar matematicamente situações reais está intimamente associada à produção e execução de projetos. A inserção de projetos como ferramenta de desenvolvimento de competências matemáticas, a fim de descrever detalhadamente problemas matemáticos, tem o intuito de introduzir progressi-

vamente as etapas empregadas dentro da modelagem matemática, ou seja, a análise do problema real e utilização de conhecimentos matemáticos necessários para convertê-lo em um problema matemático concreto podem ser exploradas com mais eficiência dentro de uma proposta de ensino via projetos em que há o detalhamento do problema a ser investigado, montagem de cronograma de investigação, aplicação dos métodos matemáticos necessários, discussão dos resultados obtidos e apresentação das conclusões e/ou soluções para o problema.

"Articulada com a ideia de modelagem matemática, tem-se a alternativa de trabalho com projetos. Um projeto pode favorecer a criação de estratégias de organização dos conhecimentos escolares, ao integrar os diferentes saberes disciplinares. Ele pode iniciar a partir de um problema bem particular ou de algo mais geral, de uma temática ou de um conjunto de questões inter-relacionadas."(BRASIL, 2006, v.2, p.85).

Dessa forma, há mais uma prática aliada à modelagem matemática que deve ser amplamente utilizada em sala de aula a fim de fazer com que o aluno tenha mais ferramentas para compreender de forma palpável o saber-fazer matemático.

2.2 Surgimento da COVID-19

As doenças provocadas por vírus, que utilizam o hospedeiro para se reproduzir e são transmitidas diretamente entre eles, sempre causaram imensas perturbações para os seres humanos. Os primeiros modelos matemáticos de infecção viral surgiram em meados do século XX, utilizando em sua maioria sistemas de equações diferenciais para explicar o comportamento da doença. Pode-se verificar a evolução dos modelos epidemiológicos em Anderson e May (1979).

No início do mês de dezembro de 2019 houve um crescimento atípico de uma pneumonia causada por um β -coronavírus identificado posteriormente nomeado de COVID-19 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e de SARS-CoV-2 pelo Comitê Internacional de Estudo do Coronavírus. Baseado no sequenciamento genômico do vírus e em sua análise evolutiva, tem-se desconfiança de que o morcego seja o suspeito principal de ser o hospedeiro natural do vírus (GUO et al., 2020). Assim como, outros animais silvestres, entre eles o pangolim (mamífero que pertence a ordem *Pholidota* cujo habitat natural são zonas tropicais da Ásia e da África), que também foram testados para o vírus sem chegar a nenhuma conclusão definitiva. Os números da pandemia de COVID-19 na China em 1^o de março de 2020 eram de 79.968 casos confirmados e 2.873 mortes, sendo um total de 87.137 casos confirmados ao redor do mundo (WHO, 2020).

Em 31 de dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) foi alertada sobre diversos casos de pneumonia na cidade de Wuhan, província de Hubei, na República Popular da China. Tratava-se de uma nova cepa (tipo) de coronavírus que não havia sido identificada antes em seres humanos. Uma semana depois, em 7 de janeiro de 2020, as

autoridades chinesas confirmaram a identificação de um novo tipo de coronavírus. Os coronavírus estão por toda parte e são a segunda principal causa de resfriado comum (após rinovírus) e, até as últimas décadas, raramente causavam doenças mais graves em humanos do que um resfriado comum. No total, sete coronavírus humanos (HCoVs) já foram identificados: HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63, HCoV-HKU1, SARS-COV (causadores da síndrome respiratória aguda grave), MERS-COV (causadora síndrome respiratória do Oriente Médio) e o, mais recente, novo coronavírus (que no início foi temporariamente nomeado 2019-nCoV e, em 11 de fevereiro de 2020, recebeu o nome de SARS-CoV-2). Esse novo coronavírus é responsável por causar a doença COVID-19.

O vírus SARS-CoV-2 tem como principal forma de transmissão o contato direto com secreções contaminadas, através de gotículas liberadas ao falar, espirrar ou tossir, assim como há a possibilidade infecção ao tocar superfícies ou objetos em que essas gotículas tenham se acumulado, levando as mãos aos olhos, boca ou nariz. Em geral, a população é sensível ao vírus e o período de incubação varia em média de 3 a 7 dias, chegando ao máximo de 14 dias, sendo o vírus muito contagioso nesse período e com alta transmissibilidade de humano para humano (GOU, 2020).

De acordo com o Ministério da Saúde (2020), em 26 de fevereiro de 2020 houve o primeiro caso confirmado de COVID-19 no Brasil. Trata-se de um homem de 61 anos que viajou para a Itália e deu entrada no hospital Albert Einstein, em São Paulo (SP). Após ser decretado o fim da pandemia, estima-se que houve em todo território nacional 37.739.057 casos confirmados, 704.897 óbitos e uma letalidade em torno de 1,9% com uma incidência a cada 100 mil habitantes de aproximadamente 17.958 e mortalidade a cada 100 mil habitantes de aproximadamente 335 e no estado do Maranhão, até o presente momento, registra-se 497.081 casos, 11.079 óbitos com uma incidência a cada 100 mil habitantes de aproximadamente 7.026 e mortalidade a cada 100 mil habitantes de aproximadamente 157 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2023).

Na cidade de Barra do Corda - MA, segundo o portal de transparência de vacinação da COVID-19, tem-se, os seguintes dados atualizados em 20 de janeiro de 2023, uma cobertura por doses aplicadas da seguinte forma: 194.668 doses distribuídas e 143.570 doses aplicadas (correspondendo a aproximadamente 73,75% das doses distribuídas) e desse total de doses distribuídas, 14.730 se destinam ao público infantil (crianças de 5 a 11 anos) com 6.440 doses aplicadas (correspondendo a aproximadamente 43,72% das crianças de 5 a 11 anos). A cobertura populacional para maiores de 18 anos teve uma distribuição de 57.474 doses, sendo imunizadas 37.461 pessoas (correspondendo a aproximadamente 65,18% da população maior de 18 anos). A cobertura vacinal para a população de 12 a 17 anos teve uma distribuição de 11.629 doses, sendo imunizadas 2.648 pessoas (correspondendo a aproximadamente 22,77% da população de 12 a 17 anos) (PREFEITURA, 2023).

As possíveis alterações do cenário da pandemia são consequência das medidas de

contenção que levam a alterações nas diversas e complexas variáveis do problema. Nesse sentido, os modelos matemáticos considerados para a COVID-19 auxiliam na compreensão de aspectos gerais e/ou particulares da transmissão da doença e ajudam a prever situações futuras.

Em 30 de janeiro de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou que o surto do novo coronavírus representa uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII), ou seja, o mais alto nível de alerta da Organização, conforme previsto no Regulamento Sanitário Internacional (RSI). Essa decisão buscou aprimorar a coordenação, a cooperação e a solidariedade global para interromper a propagação do vírus.

A ESPII é considerada, nos termos do Regulamento Sanitário Internacional (RSI), “um evento extraordinário que pode constituir um risco de saúde pública para outros países devido a disseminação internacional de doenças; e potencialmente requer uma resposta internacional coordenada e imediata”. É a sexta vez na história que uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional é declarada. As outras foram:

- (i) 25 de abril de 2009: pandemia de H1N1;
- (ii) 5 de maio de 2014: disseminação internacional de poliovírus;
- (iii) 8 agosto de 2014: surto de Ebola na África Ocidental;
- (iv) 1 de fevereiro de 2016: vírus Zika e aumento de casos de microcefalia e outras malformações congênitas;
- (v) 18 maio de 2018: surto de Ebola na República Democrática do Congo.

No início da pandemia do SARS-CoV-2, muito se discutiu sobre as possíveis origens do vírus. Em maio de 2020, a Assembleia Mundial da Saúde, na resolução WHA73.1, solicitou ao diretor-geral da Organização Mundial da Saúde (OMS), Tedros Adhanom Ghebreyesus, que prosseguisse os trabalhos em colaboração com outros órgãos para identificar a origem do novo coronavírus.

A principal pergunta a ser respondida era como ele chegou à na população humana, incluindo o possível papel de hospedeiros intermediários. Também participaram do estudo a Rede Global de Alerta e Resposta a Surtos e a Organização Mundial para Saúde Animal. De acordo com a OMS, o objetivo da descoberta era prevenir a reinfeção com o vírus e o estabelecimento de novos reservatórios zoonóticos (seres onde vive e se multiplica um agente infeccioso, reproduzindo-se de maneira que possa ser transmitido a um hospedeiro suscetível), reduzindo os riscos de surgimento e transmissão de outras zoonoses.

As principais teorias levantadas incluíam o contato entre um ser humano e um animal infectado e um acidente em um laboratório na China. No final de março, a OMS divulgou um relatório de 120 páginas, desenvolvido por cientistas da China e de outras partes do mundo, que reforçou a origem natural da epidemia. A tese mais aceita diz que o vírus passou do morcego para um mamífero intermediário, e dele para o ser humano. A transmissão de um morcego diretamente para um humano também foi apontada como

uma hipótese possível e provável. O relatório ainda afirmou que a passagem do vírus para humanos por meio de produtos alimentícios é possível, porém uma hipótese remota. Já a possibilidade de o vírus ter escapado acidentalmente do Instituto de Virologia de Wuhan foi classificada como “extremamente improvável”. De acordo com o diretor-geral da OMS, no entanto, o relatório era um começo no caminho de determinar com precisão a origem do vírus, e não um fim.

A determinação urgente de modelos matemáticos que permitissem uma melhor compreensão da doença passou a ser prioridade em todo planeta. Vários modelos foram propostos e a maioria deles giram em torno de sistemas compartimentais cuja diferença consiste quase sempre no número de compartimentos utilizados. Dessa forma, realizar a proposição de modelos epidemiológicos enquanto a pandemia esteve ativa foi bastante problemático e os resultados, muitas vezes, foram precipitados. Contudo, caso não se conheça suficientemente a dinâmica do processo só se poderá fazer uma analogia com fenômenos semelhantes.

3 Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

A história da fundação do MMQ foi descrita utilizando o livro: *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900* de *Stephen M. Stigler*.

3.1 Fundação do método

O método dos mínimos quadrados se apresenta desde os campos da Astronomia e Geodésia (ciência que estuda o formato e dimensões da Terra, a posição de pontos sobre sua superfície e a modelagem do campo gravitacional), à medida que cientistas e matemáticos buscavam soluções para os desafios de navegar nos oceanos da Terra durante as grandes navegações. A descrição detalhada do comportamento dos corpos celestes era fundamental a fim de permitir que os navios fizessem suas rotas em mar aberto, em que os marinheiros não podiam mais depender exclusivamente de avistamentos em terra para navegar.

O método culminou em vários avanços ocorridos ao decorrer do século XVIII:

1. *A combinação de diferentes observações como sendo a melhor estimativa do valor verdadeiro; os erros diminuem com a agregação em vez de aumentar, talvez expressos pela primeira vez por Roger Cotes em 1722;*
2. *A combinação de diferentes observações feitas nas mesmas condições, ao contrário de simplesmente tentar o melhor para observar e registrar uma única observação com precisão. A abordagem era conhecida como método das médias. Esta abordagem foi usada notavelmente por Tobias Mayer enquanto estudava as librações da lua em 1750, e por Pierre-Simon Laplace em seu trabalho para explicar as diferenças no movimento de Júpiter e Saturno em 1788;*
3. *A combinação de diferentes observações feitas em diferentes condições. O método veio a ser conhecido como o método do menor desvio absoluto. Foi notadamente realizado por Roger Joseph Boscovich em seu trabalho sobre a forma da Terra em 1757 e por Pierre-Simon Laplace para o mesmo problema em 1799;*
4. *O desenvolvimento de um critério que pode ser avaliado para determinar quando a solução com o erro mínimo foi alcançada. Laplace tentou especificar uma forma matemática da densidade de probabilidade dos erros e definir um método de estimativa que minimiza o erro de estimativa. Para este propósito, Laplace usou uma distribuição exponencial bilateral simétrica que agora chamamos de distribuição de Laplace para modelar a distribuição do erro, e usou a soma dos desvios absolutos como erro de estimativa. Ele achava que essas eram as suposições mais simples que poderia fazer e esperava obter a média aritmética como a melhor estimativa. Em vez disso, seu estimador foi a mediana posterior.*

A primeira exposição clara e concisa do método dos mínimos quadrados foi publicada por Legendre em 1805. A técnica é descrita como um procedimento algébrico para ajustar equações lineares aos dados e Legendre demonstra o novo método analisando os mesmos dados que Laplace para a forma da terra. O valor do método dos mínimos quadrados de Legendre foi imediatamente reconhecido pelos principais astrônomos e geodestas da época.

Em 1809, Carl Friedrich Gauss publicou seu método de cálculo das órbitas dos corpos celestes. Naquela obra, afirmou que possuía o método dos mínimos quadrados desde 1795. Isso levou naturalmente a uma disputa de prioridade com Legendre. Entretanto, para crédito de Gauss, ele foi além de Legendre e conseguiu associar o método dos mínimos quadrados aos princípios da probabilidade e à distribuição normal, assim como completar o programa de Laplace de especificar uma forma matemática da densidade de probabilidade para as observações, dependendo de um número finito de parâmetros desconhecidos, e definir um método de estimativa que minimiza o erro de estimativa. Gauss demonstrou que a média aritmética é a melhor estimativa do parâmetro de localização, alterando a densidade de probabilidade e o método de estimativa. Dessa forma, ele mudou o problema, uma vez que questionou sobre qual forma a densidade deveria ter e que método de estimativa deveria ser empregado para obter a média aritmética como estimativa do parâmetro de localização. Nessa tentativa, ele obteve a distribuição normal.

Uma das primeiras demonstrações da força do método de Gauss veio quando ele foi usado para prever a localização futura do recém-descoberto asteroide Ceres. Em 1 de janeiro de 1801, o astrônomo italiano Giuseppe Piazzi descobriu Ceres e foi capaz de rastrear seu caminho por 40 dias antes que se perdesse no brilho do sol. Com base nesses dados, os astrônomos desejavam determinar a localização de Ceres depois que ela emergiu atrás do sol, sem resolver as complicadas equações não lineares de Kepler do movimento planetário. As únicas previsões que permitiram com sucesso ao astrônomo húngaro Franz Xaver von Zach realocar Ceres foram aquelas realizadas por Gauss, de 24 anos, usando análise de mínimos quadrados.

Em 1810, depois de ler o trabalho de Gauss, Laplace, depois de provar o teorema do limite central, usou-o para dar uma grande amostra de justificação para o método dos mínimos quadrados e da distribuição normal. Em 1822, Gauss foi capaz de afirmar que a abordagem de mínimos quadrados para análise de regressão é ótima no sentido de que em um modelo linear onde os erros têm uma média de zero, não são correlacionados e têm variâncias iguais, o melhor estimador linear imparcial de os coeficientes é o estimador de mínimos quadrados. Este resultado é conhecido como teorema de Gauss-Markov.

O conceito da análise de mínimos quadrados também foi formulada de forma independente pelo americano Robert Adrain em 1808. Nos dois séculos posteriores, os pesquisadores da teoria dos erros e da estatística encontraram muitas maneiras diferentes de implementar os mínimos quadrados.

3.2 Detalhamento matemático do MMQ

Apresentar-se-á a descrição matemática por detrás do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). As definições exploradas foram extraídas dos livros: *Modelagem Matemática: teoria e prática* de Rodney Carlos Bassanezi e *Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais* de Márcia A. Gomes Ruggiero e Vera Lúcia da Rocha Lopes.

3.2.1 Noções preliminares

Utilizou-se algumas definições do livro: *Álgebra Linear de Alfredo Steinbruch e Paulo Winterle*.

Definição 1. (Produto escalar). Diz-se produto escalar (ou produto interno) de dois vetores $u = (x_1, y_1)$ e $v = (x_2, y_2)$, e se representa da forma $u \cdot v$, o número real:

$$u \cdot v = x_1x_2 + y_1y_2.$$

O produto escalar $u \cdot v$ também pode ser indicado por $\langle u, v \rangle$ em que se lê (u escalar v).

Propriedades do produto escalar

Sejam os vetores u, v e w quaisquer e $\alpha \in \mathbb{R}$, vem:

$$P_1. u \cdot u \geq 0 \text{ e } u \cdot u = 0 \Leftrightarrow u = 0;$$

$$P_2. u \cdot v = v \cdot u \text{ (comutativa);}$$

$$P_3. u \cdot (v + w) = u \cdot v + u \cdot w \text{ (distributiva em relação a adição de vetores);}$$

$$P_4. (\alpha \cdot u) \cdot v = \alpha(u \cdot v) = u \cdot (\alpha v);$$

$$P_5. u \cdot u = |u|^2.$$

Definição 2. (Espaços vetoriais). Seja um conjunto V , não-vazio, a partir do qual estão definidas as operações de adição e multiplicação por escalar, ou seja:

$$(i) \text{ Para quaisquer } u, v \in V, u + v \in V.$$

$$(ii) \text{ Para todo } \alpha \in \mathbb{R}, \text{ para todo } u \in V, \alpha u \in V.$$

Para as duas operações o conjunto V é dito *espaço vetorial real* ou *espaço vetorial* sobre \mathbb{R} se forem verificados os axiomas que seguem:

(i) Em relação à adição:

$$A_1. (u + v) + w = u + (v + w), \forall u, v, w \in V.$$

$$A_2. u + v = v + u, \forall u, v \in V.$$

$$A_3. \exists 0 \in V, \forall u \in V, u + 0 = u.$$

$$A_4. \forall u \in V, \exists (-u) \in V, u + (-u) = 0.$$

(ii) Em relação à multiplicação:

$$A_5. (\alpha\beta)u = \alpha(\beta u).$$

$$A_6. (\alpha + \beta)u = \alpha u + \beta u.$$

$$A_7. \alpha(u + v) = \alpha u + \alpha v.$$

$$A_8. 1u = u, \forall u, v \in V \text{ e } \forall \alpha, \beta \in \mathbb{R}.$$

Definição 3. (Subespaços vetoriais). Sejam V um espaço vetorial e S um subconjunto não-vazio de V . O subconjunto S é um *subespaço vetorial* de V se S é um espaço vetorial em relação operações de adição e multiplicação por escalar definidas em V .

Teorema. Seja um subconjunto S , não-vazio, de um espaço vetorial V . Tal subconjunto é um subespaço vetorial de V se as seguintes condições forem satisfeitas:

(i) Para quaisquer $u, v \in S$, tem-se: $u + v \in S$.

(ii) Para quaisquer $\alpha \in \mathbb{R}, u \in S$, tem-se: $\alpha u \in S$.

A fim de demonstrar que um subconjunto S é um subespaço vetorial de V , deve-se testar os 8 (oito) axiomas de espaço vetorial relativos às operações de adição e multiplicação por escalar. Entretanto, como S é subconjunto de V (espaço vetorial) não é necessário verificar determinados axiomas em S .

Dessa forma, observa-se que todo espaço vetorial V admite, no mínimo, dois su-

bespaços: subespaço nulo e o próprio espaço vetorial V que são ditos subespaços triviais de V , sendo os demais ditos subespaços próprios de V .

3.2.2 Fundamentação do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ)

Dados os pontos $(x_1, f(x_1)), (x_2, f(x_2)), \dots, (x_m, f(x_m))$, as n funções da forma $g_1(x), g_2(x), \dots, g_n(x)$, que foram escolhidas de alguma forma, e o número m de pontos, tabelados, em que $m \geq n$ que representa o número de funções escolhidas ou de coeficientes α_i a determinar.

O intuito é determinar os coeficientes $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ tais que a função $\phi(x) = \alpha_1 g_1(x) + \alpha_2 g_2(x) + \dots + \alpha_n g_n(x)$ fique o mais próximo possível de $f(x)$. Seja $d_k = f(x_k) - \phi(x_k)$ o desvio em x_k de modo que seja mínimo para $k = 1, 2, 3, \dots, m$. O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) se resume em escolher os (α_j) 's de modo a minizar a soma dos quadrados dos desvios, sendo que a soma

$$\sum_{k=1}^m d_k^2 = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \phi(x_k)]^2$$

é mínima, o termo $[f(x_k) - \phi(x_k)]^2$ é pequeno e cada desvio $[f(x_k) - \phi(x_k)]$ também é pequeno. Logo, dentro do critério dos quadrados mínimos, os coeficientes α_k , minizam a função, fazendo com que $\phi(x)$ se aproxime o máximo possível de $f(x)$.

$$F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \phi(x_k)]^2 = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \alpha_2 g_2(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)]^2.$$

Caso o modelo ajuste precisamente os dados, a função acima terá mínimo igual a zero, gerando um caso especial de interpolação no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Empregando Cálculo Diferencial para determinar um ponto de mínimo da função $F(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$, deve-se encontrar seus pontos críticos, $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$, tais que

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_j} \Big|_{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)} = 0, j = 1, 2, \dots, n$$

Calculando as derivadas parciais para cada $j = 1, 2, \dots, n$, vem:

$$\frac{\partial F}{\partial \alpha_j} \Big|_{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)} = 2 \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)] [-g_j(x_k)]$$

Impondo a condição

$\frac{\partial F}{\partial \alpha_j} |_{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)} = 0, j = 1, 2, \dots, n$, tem-se:

$$\sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)] [g_j(x_k)] = 0, j = 1, 2, \dots, n.$$

Assim,

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)] [g_1(x_k)] = 0 \\ \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)] [g_2(x_k)] = 0 \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^m [f(x_k) - \alpha_1 g_1(x_k) - \dots - \alpha_n g_n(x_k)] [g_n(x_k)] = 0 \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \left[\sum_{k=1}^m g_1(x_k) g_1(x_k) \right] \alpha_1 + \dots + \left[\sum_{k=1}^m g_n(x_k) g_1(x_k) \right] \alpha_n = \sum_{k=1}^m f(x_k) g_1(x_k) \\ \left[\sum_{k=1}^m g_1(x_k) g_2(x_k) \right] \alpha_1 + \dots + \left[\sum_{k=1}^m g_n(x_k) g_2(x_k) \right] \alpha_n = \sum_{k=1}^m f(x_k) g_2(x_k) \\ \vdots \\ \left[\sum_{k=1}^m g_1(x_k) g_n(x_k) \right] \alpha_1 + \dots + \left[\sum_{k=1}^m g_n(x_k) g_n(x_k) \right] \alpha_n = \sum_{k=1}^m f(x_k) g_n(x_k) \end{array} \right.$$

que é um sistema linear $n \times n$ (possui n equações e n incógnitas): $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ em que tais equações são ditas *equações normais*. O sistema linear pode ser reescrito sob a forma matricial $A\alpha = b$:

3.3 Método dos Mínimos Quadrados: ajuste de curvas

É dita regressão ou ajuste de curvas um recurso formal para expressar alguma tendência ou relação entre a variável dependente x_n e a independente n , ou seja, é um mecanismo que fornece uma relação funcional $x_n = f(n)$ quando se tem alguma relação estatística.

Realizar um ajuste de curvas significa determinar os coeficientes de uma função genérica, de modo que, no intervalo de valores considerados, esta função e os dados estatísticos apresentados tenham uma certa proximidade. A depender do que se entende por aproximação entre função ajustada e dados experimentais, teremos diferentes soluções para $f(n)$. De qualquer forma, pode-se somente garantir a proximidade entre a curva de regressão e os pontos dados no intervalo limitado onde tais pontos foram considerados. Nesse sentido, fazer previsões de valores futuros é o objetivo principal de uma modelagem, e um ajuste dos valores conhecidos nem sempre pode ser útil. Contudo, como modelos parciais os ajustes são fundamentais no processo de modelagem global.

Um dos métodos mais usados para estimação dos parâmetros de uma função é dito método dos quadrados mínimos: Considere um conjunto de n dados observados x_n e uma função $x_n = f(n, a_1, a_2, \dots, a_j)$, onde $a_j (j = 1, 2, 3, \dots)$ são parâmetros. O método dos mínimos quadrados consiste em determinar esses parâmetros de modo que minimizem o valor de

$$S_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [f(n, a_1, a_2, \dots, a_j) - \bar{x}_i]^2.$$

isto é, devemos minimizar a soma dos quadrados dos desvios entre os valores \bar{x}_n observados e os valores ajustados $x_n = f(n, a_1, a_2, \dots, a_j)$.

3.3.1 Ajuste linear

Tem-se um ajuste linear quando for da forma

$$y(x) = f(x; a, b) = ax + b \text{ (equação de uma reta)}$$

Dessa forma, encontraremos os valores dos parâmetros a e b que tornam mínima a soma dos quadrados dos desvios:

$$S = S(a, b) = \sum_{i=1}^n (b + a\bar{x}_i - \bar{y}_i)^2$$

Tais valores tem que satisfazer, necessariamente, às condições de minimalidade de S :

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial b} = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n 2(b + a\bar{x}_i - \bar{y}_i) = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial a} = 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^n 2\bar{x}_i(b + a\bar{x}_i - \bar{y}_i) = 0 \end{cases}$$

ou seja,

$$\begin{cases} a = \frac{n \sum \bar{x}_i \bar{y}_i - \sum \bar{x}_i \sum \bar{y}_i}{n \sum \bar{x}_i^2 - (\sum \bar{x}_i)^2} = \frac{\sum \bar{x}_i \bar{y}_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum \bar{x}_i^2 - n\bar{x}^2} \\ b = \frac{\sum \bar{x}_i^2 \sum \bar{y}_i - \sum \bar{x}_i \sum \bar{x}_i \bar{y}_i}{n \sum \bar{x}_i^2 - (\sum \bar{x}_i)^2} \Leftrightarrow b = \frac{\sum \bar{y}_i}{n} - a \frac{\sum \bar{x}_i}{n} = \bar{y} - a\bar{x} \end{cases}$$

onde \bar{x} (respectivamente \bar{y}) é média dos valores de \bar{x}_i (respectivamente \bar{y}_i). Ao fazer um ajuste linear para associar duas variáveis, não se sabe a princípio se a reta determinada é certamente o melhor modelo de ajuste. Dessa forma, verificar a existência e o grau da relação entre as variáveis é o objeto de estudo da correlação.

A correlação linear tem o intuito de averiguar a relação entre as variáveis x e y observando a distribuição dos pontos (x_i, y_i) , ao decorrer de uma reta ajustada de equação $y = ax + b$.

Existe um instrumento em que se realiza a medição da correlação linear obtido a partir do teste de hipóteses \bar{H}_0 a fim de verificar aceitação do coeficiente angular da reta, dito coeficiente de correlação de Pearson (R) que é da forma:

$$R = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\left[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right]^{\frac{1}{2}}} \text{ ou } R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}$$

sendo, $[-1, 1]$ o intervalo de variação de R . Logo, tem-se que a correlação será mais intensa quando R se aproximar de -1 ou de 1 e mais fraca quando R se aproximar de zero. Dessa forma, tem-se:

- (i) Correlação perfeita $\implies R = 1$ ou $R = -1$;
- (ii) Correlação inexistente $\implies R = 0$.

Com o sinal de R , sendo, portanto, o coeficiente angular da reta ajustada.

3.3.2 Ajuste quadrático

As parábolas da forma $(y = a + bx + cx^2)$ são os modelos de ajuste quadrático, tendo como uma das principais características possuir pontos de máximo e mínimo para y dentro de um intervalo de variação limitado de x .

Para determinar os parâmetros a, b e c também se aplica o método dos mínimos quadrados em que a expressão que segue é minimizada

$$f(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - y)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i + cx_i^2)]^2.$$

que tem as seguintes condições necessárias para o mínimo de f :

$$(i) \frac{\partial f}{\partial a} = 0; (ii) \frac{\partial f}{\partial b} = 0; (iii) \frac{\partial f}{\partial c} = 0.$$

E o sistema de equações de ajustamento que estabelece os valores de a, b e c :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum y_i = na + b \sum x_i + c \sum x_i^2 \\ \sum x_i y_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2 + c \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 y_i = a \sum x_i^2 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^4 \end{array} \right.$$

em que os valores dos parâmetros a, b e c serão a solução do sistema apresentado.

4 Materiais e Métodos

Os materiais utilizados para construção dessa pesquisa que gerou esse trabalho foram 120 boletins epidemiológicos de casos diários de coronavírus gerados em formato de imagem pela Secretaria Municipal de Saúde de Barra do Corda (ver Anexos), Maranhão, e os *softwares* Microsoft Excel[®], GNU Octave[®] e GeoGebra Classic 6[®], para tratamento e análise dos dados coletados.

Uma planilha com 120 instâncias foi criada a partir dos boletins epidemiológicos de casos diários de coronavírus. Cada instância referente a um dia entre o período de 08/04/2020 a 01/09/2020 contendo as seguintes informações: número de casos notificados acumulados, número de casos descartados acumulados, número de casos suspeitos diários, número de casos confirmados acumulados, número de recuperados diários, número de infectados ativos diários, número de óbitos acumulados e quantidade de hospitalizados ao dia.

O foco desse trabalho foi analisar o número de casos notificados acumulados em relação ao número de casos confirmados acumulados. O gráfico de dispersão entre essas variáveis, correspondente à sua respectiva data, foi criado para uma análise visual de existência de correlação a qual foi confirmada usando o Coeficiente de Correlação de Pearson (Morettin, Bussab, 2010).

Antes de iniciar os ajustes de curva dos dados, separou-se as trinta últimas instâncias (ordem cronológica crescente) para validação do modelo. Foram realizados dois ajustes de curvas polinomiais do primeiro e segundo graus usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) a partir das noventa instâncias iniciais. Comparou-se os valores encontrados pelas curvas com os dados que foram separados. Uma análise usando quase o mesmo processo foi realizada entre as variáveis número de casos confirmados acumulados e número de óbitos acumulados e entre as variáveis número de casos notificados acumulados e número de óbitos acumulados.

5 Análise e Discussão dos Resultados

A Figura 1 mostra a planilha construída no Excel[®] a partir dos boletins epidemiológicos de casos diários de coronavírus do município de Barra do Corda - MA, cujas colunas são as variáveis descritas anteriormente.

DADOS DE CORONAVÍRUS - BOLETINS EPIDEMIOLÓGICOS DE BARRA DO CORDA								
Data	Notificados	Descartados	Suspeitos	Confirmados	Recuperados	Infectados (Ativos)	Óbitos	Hospitalizados (Qtde por dia)
08/04/2020	9	6	3	0	0	0	0	0
21/04/2020	14	8	6	0	0	0	0	0
03/05/2020	46	17	20	0	0	0	0	0
05/05/2020	48	21	23	4	0	4	0	1
06/05/2020	58	21	30	7	2	5	0	3
07/05/2020	88	29	45	14	4	10	0	2
08/05/2020	106	41	61	23	5	17	1	7
09/05/2020	115	41	45	29	5	23	1	
10/05/2020	137	52	47	38	8	29	1	
11/05/2020	201	64	79	58	10	47	1	
12/05/2020	244	85	85	85	18	65	2	9
13/05/2020	272	84	80	108	20	85	3	10
14/05/2020	318	84	112	122	20	97	5	7
15/05/2020	432	148	142	142	20	117	5	5
16/05/2020	530	224	142	164	21	137	6	6
17/05/2020	617	233	198	184	23	155	8	5
18/05/2020	699	284	198	216	25	182	8	4
19/05/2020	749	290	205	254	29	216	9	9
20/05/2020	834	308	244	284	29	246	9	10
21/05/2020	941	307	322	312	29	273	10	10
22/05/2020	1077	308	414	354	37	305	12	10
23/05/2020	1183	310	486	387	43	332	12	9
24/05/2020	1284	311	552	421	46	363	12	6
25/05/2020	1345	313	584	446	46	390	12	7
26/05/2020	1455	313	638	504	76	416	12	8
27/05/2020	1591	314	710	567	105	450	12	5
28/05/2020	1744	319	816	618	128	478	12	5
29/05/2020	1866	317	909	640	177	451	12	6
30/05/2020	1999	362	949	688	237	439	12	3
31/05/2020	2106	421	964	721	268	441	12	4
01/06/2020	2198	473	972	745	331	401	12	3
02/06/2020	2282	472	1037	772	366	393	13	4
03/06/2020	2415	476	1133	806	418	375	13	2
04/06/2020	2527	541	1147	839	447	379	13	3
05/06/2020	2554	542	1154	858	479	366	13	2
06/06/2020	2676	703	1053	920	498	409	13	2
07/06/2020	2752	771	1032	949	500	436	13	3
08/06/2020	2832	770	1081	981	534	434	13	4
09/06/2020	2922	867	1032	1023	553	457	13	4
10/06/2020	3040	921	1049	1070	601	456	13	3
11/06/2020	3174	994	1071	1099	637	459	12	8
12/06/2020	3289	1105	1030	1154	658	482	14	6
13/06/2020	3441	1201	1032	1208	687	506	15	10
14/06/2020	3562	1248	1050	1249	700	534	15	11
15/06/2020	3637	1273	1091	1273	727	531	15	11
16/06/2020	3779	1333	1122	1322	734	573	15	6
17/06/2020	3951	1396	1165	1390	757	638	15	8
18/06/2020	4116	1494	1173	1450	762	672	15	6
19/06/2020	4232	1492	1238	1502	789	697	16	8
20/06/2020	4385	1571	1236	1571	813	749	16	7
21/06/2020	4508	1676	1494	1620	832	771	17	8
22/06/2020	4618	1735	1222	1661	868	775	18	7
23/06/2020	4786	1702	1342	1742	914	810	18	6
24/06/2020	4988	1751	1416	1821	931	872	18	6
25/06/2020	5186	1787	1506	1864	953	923	18	6
26/06/2020	5386	1841	1546	1999	1005	976	18	7
27/06/2020	5603	1837	1677	2089	1048	1022	19	5
28/06/2020	5761	1929	1683	2149	1081	1048	20	5
29/06/2020	5912	1995	1693	2224	1131	1071	21	4
30/06/2020	6095	2089	1693	2313	1201	1089	23	3
01/07/2020	6231	2161	1674	2396	1254	1118	24	3
02/07/2020	6386	2209	1790	2527	1308	1205	24	4
03/07/2020	6628	2658	1393	2577	1406	1147	24	3
04/07/2020	6706	2730	1387	2589	1438	1127	24	3
05/07/2020	6772	2804	1350	2618	1457	1137	24	3
06/07/2020	6833	2927	1361	2645	1503	1118	24	1
07/07/2020	6901	3048	1172	2681	1534	1123	24	2
08/07/2020	6987	3045	1213	2729	1655	1050	24	4
09/07/2020	7078	3181	1130	2768	1786	968	24	6
10/07/2020	7168	3267	1103	2798	1905	868	25	7
11/07/2020	7270	3400	1019	2851	1957	869	25	7
12/07/2020	7336	3498	959	2879	2029	825	26	6
13/07/2020	7389	3572	905	2912	2118	769	25	6
14/07/2020	7473	3640	880	2953	2203	725	25	6
15/07/2020	7562	3670	897	2995	2300	670	25	7
16/07/2020	7644	3720	897	3037	2406	607	27	7
17/07/2020	7813	3888	777	3150	2593	528	29	6
18/07/2020	7901	3941	758	3202	2654	519	29	7
19/07/2020	8002	4011	738	3252	2680	543	29	6
20/07/2020	8069	4046	738	3285	2703	551	31	3
21/07/2020	8209	4079	768	3362	2709	558	32	5
22/07/2020	8257	4113	753	3391	2828	530	33	5
23/07/2020	8332	4153	752	3427	2881	512	34	3
24/07/2020	8446	4204	759	3483	2912	537	34	3
25/07/2020	8537	4263	750	3524	2935	555	34	5
26/07/2020	8624	4326	717	3561	2966	561	34	5
27/07/2020	8693	4335	744	3614	2997	581	36	7
28/07/2020	8802	4359	789	3654	3013	604	37	7
29/07/2020	8904	4401	803	3700	3038	629	37	8
30/07/2020	9007	4445	813	3749	3065	647	37	7
31/07/2020	9114	4487	835	3782	3093	651	38	2
01/08/2020	9189	4555	815	3819	3155	626	38	2
02/08/2020	9263	4591	820	3852	3191	623	38	4
03/08/2020	9315	4642	809	3870	3229	601	40	4
04/08/2020	9394	4677	803	3908	3250	618	40	5
05/08/2020	9441	4741	773	3927	3293	592	42	4
06/08/2020	9444	4741	775	3928	3312	574	42	5
07/08/2020	9488	4801	740	3947	3344	561	42	5
08/08/2020	9551	4858	709	3984	3428	534	42	8
09/08/2020	9634	4906	700	4020	3471	507	42	8
10/08/2020	9687	4953	686	4048	3509	496	43	5
11/08/2020	9791	4985	716	4090	3545	502	43	5
12/08/2020	9859	5051	686	4122	3593	488	43	6
13/08/2020	9945	5107	674	4164	3630	491	43	5
14/08/2020	10015	5158	651	4206	3680	483	43	7
15/08/2020	10082	5229	604	4249	3712	484	43	10
16/08/2020	10138	5270	586	4282	3745	494	43	8
17/08/2020	10185	5310	578	4297	3772	477	43	6
18/08/2020	10241	5344	579	4318	3796	479	43	7
19/08/2020	10307	5384	571	4352	3815	474	43	7
20/08/2020	10385	5393	602	4390	3945	399	46	6
22/08/2020	10550	5430	657	4463	3976	441	46	3
23/08/2020	10591	5458	648	4475	4006	423	46	3
24/08/2020	10613	5511	604	4498	4028	421	49	7
26/08/2020	10726	5607	546	4573	4093	430	50	8
27/08/2020	10790	5643	539	4608	4117	439	52	5
28/08/2020	10834	5681	513	4640	4163	427	52	7
30/08/2020	10924	5802	445	4677	4199	389	53	4
31/08/2020	10960	5824	446	4690	4265	372	53	5
01/09/2020	11016	5856	444	4716	4278	381	53	5

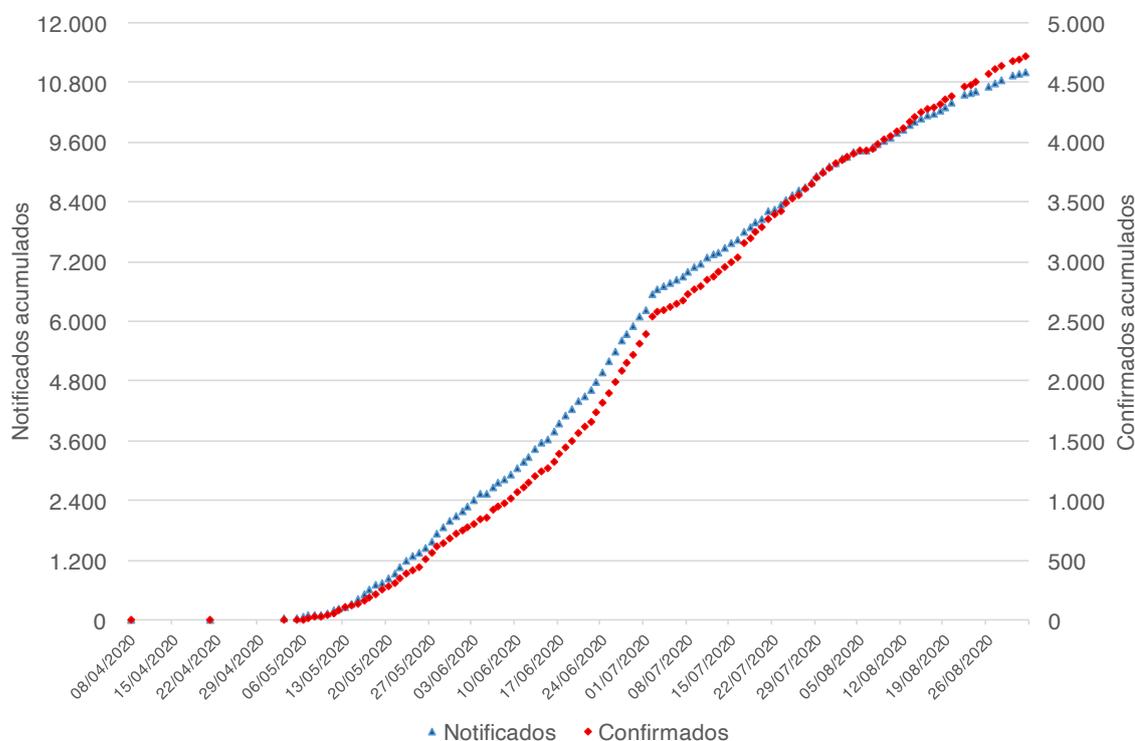
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 1: Dados coletados a partir dos boletins epidemiológicos de coronavírus no município de Barra do Corda, Maranhão.

A planilha mostra os dados coletados de 8 de abril de 2020 a 1º de setembro de 2020. Ao decorrer de 147 dias (período entre as datas mencionadas) não se conseguiu obter todos os boletins epidemiológicos, uma vez que em alguns dias a Secretaria Municipal de Saúde não divulgou, ou em alguns boletins faltavam algumas informações, ou não foram encontrados esses boletins em sítios vinculados à Prefeitura Municipal de Barra do Corda. Nas datas anteriores a 8 de abril não foi encontrado nenhum boletim. A quantidade de infectados ativos até o dia 21 de abril era zero.

Não foram encontrados boletins epidemiológicos em sítios vinculados à Prefeitura de Barra do Corda - MA após 1º de setembro de 2020. Contudo, houve a publicação de um boletim epidemiológico em 27 de março de 2023 em que haviam 20.878 casos confirmados, nenhum caso suspeito, 10.655 casos descartados, 10.223 casos confirmados, 10.074 recuperados, 1 em isolamento domiciliar, nenhum confirmado hospitalizado, 146 óbitos e 149.222 doses de vacina aplicadas contra a COVID-19. (SECRETARIA, 2023).

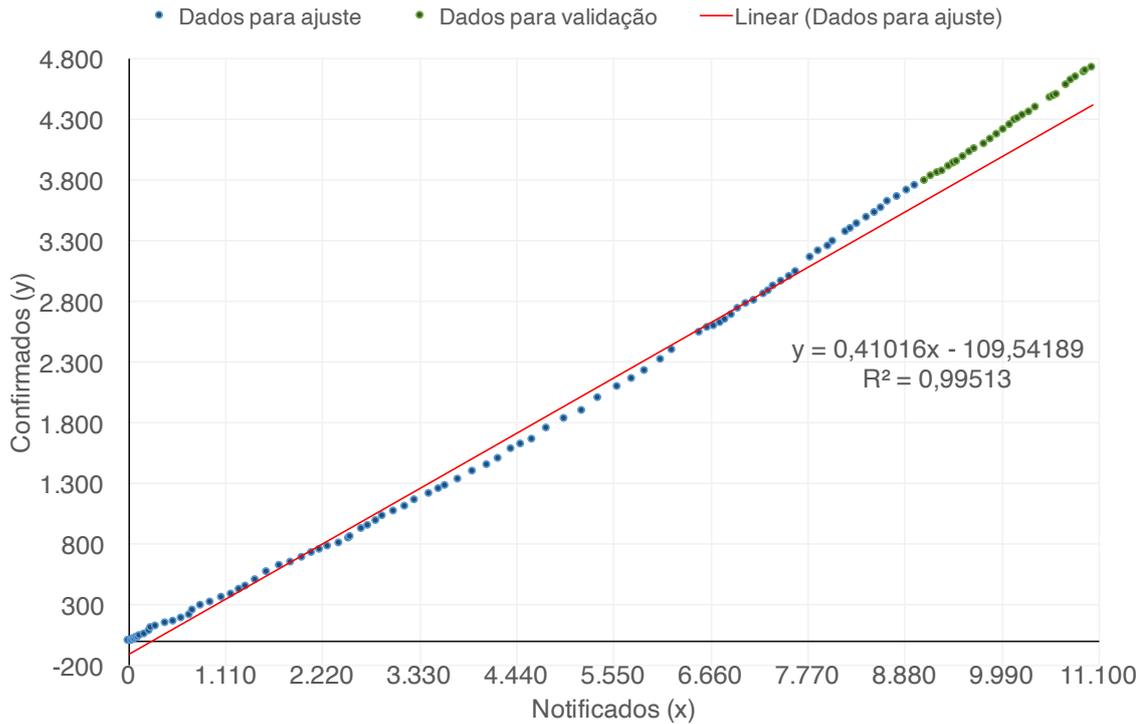
A Figura 2 mostra um gráfico de dispersão entre o número de casos notificados acumulados e o número de casos confirmados acumulados ao dia. No gráfico notamos, visualmente, um comportamento semelhante para ambas as variáveis no tempo, contudo há um crescimento mais rápido do número de casos acumulados em relação ao número de casos notificados ao decorrer do período analisado.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 2: Gráfico de dispersão entre o número de casos notificados acumulados e o número de casos confirmados ao dia.

As variáveis número de casos notificados acumulados e número de casos confirmados acumulados possuem um alto índice de correlação, como é possível notar na Figura 2. Organizando os dados dessas duas variáveis no plano cartesiano e aplicando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) para encontrar uma curva, polinômio de primeiro ou segundo grau, que melhor se ajuste a esses dados, chegamos às seguintes funções identificadas nas Figuras 3 e 4.



Fonte: Produzido pelo autor.

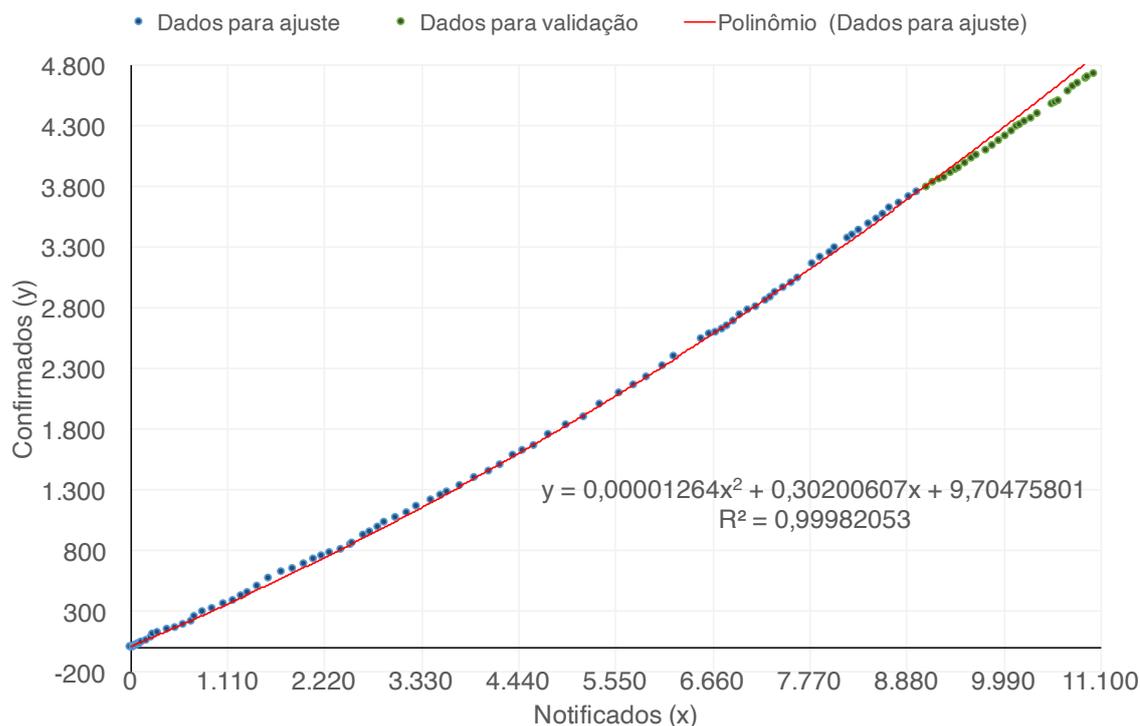
Figura 3: Polinômio de 1^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Na Figura 3, tem-se um ajuste linear (polinômio de 1^o grau) em que se utilizou os dados dos 90 boletins iniciais (90 primeiras instâncias) para realizar o ajuste das variáveis casos notificados e casos confirmados e os dados dos 30 boletins finais (30 últimas instâncias) para validação do modelo cujo *coeficiente de determinação*, $R^2 = 0,99513$, segundo a Tabela 1, indica uma correlação forte entre as variáveis analisadas.

Tabela 1: Comparativo entre as curvas encontradas que melhor se aproximam dos dados separados para ajuste e os valores separados para validação.

Polinômio	Erro	R^2
1 ^o grau	$1,2249 \cdot 10^{-3}$	0,99513
2 ^o grau	$5,5872 \cdot 10^{-2}$	0,99982

Fonte: Produzido pelo autor.



Fonte: Produzido pelo autor.

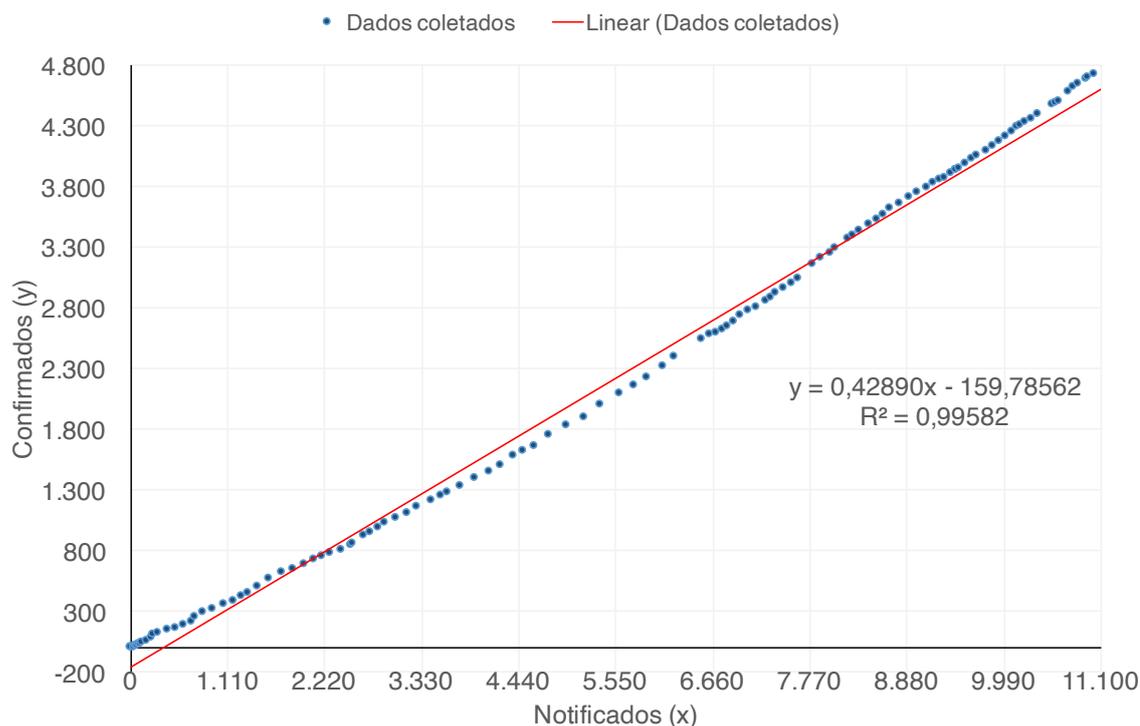
Figura 4: Polinômio de 2º grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ).

Na Figura 4, observa-se um ajuste quadrático (polinômio de 2º grau) realizado através das variáveis casos notificados e casos confirmados, sendo, portanto, as 90 primeiras instâncias para o ajuste de curva e as 30 últimas instâncias para validação do modelo. Através do ajuste, tem-se um *coeficiente de determinação*, $R^2 = 0,99982053$, maior do que o coeficiente apresentado no ajuste linear, assinalando que a curva melhor se aproxima dos dados analisados.

As Figuras 5 e 6 ilustram as funções polinomiais de 1º e 2º graus, respectivamente, que modelam a dependência entre as variáveis, casos notificados e casos confirmados, criadas assumindo todos os dados coletados como dados para ajuste das curvas. Nota-se que o R^2 entre as Figuras 3 e 5 não tem uma diferença significativa. O mesmo acontece entre as Figuras 4 e 6. Assim, à medida que inserimos novas informações, podemos ir ajustando nossas curvas e garantindo um melhor comportamento futuro.

Na Figura 5, realizou-se um ajuste polinomial de 1º grau com os dados dos 120 boletins epidemiológicos (120 instâncias) entre as variáveis casos notificados e casos confirmados. Por meio do ajuste (reta em vermelho), obteve-se um coeficiente de correlação, $R^2 = 0,99582$, que é maior do que o coeficiente do ajuste linear parcial, demonstrando uma melhor correlação entre as variáveis.

Na Figura 6, efetuou-se um ajuste polinomial de 2º grau com os dados dos 120 boletins epidemiológicos (120 instâncias) entre as variáveis casos notificados e casos confir-



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 5: Polinômio de 1^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.

mados. Por meio do ajuste (curva em vermelho), foi obtido um coeficiente de correlação ($R^2 = 0,99975808$) que é inferior ao coeficiente do ajuste quadrático parcial, demonstrando que a correlação entre as variáveis é melhor para os dados parciais (90 primeiras instâncias).

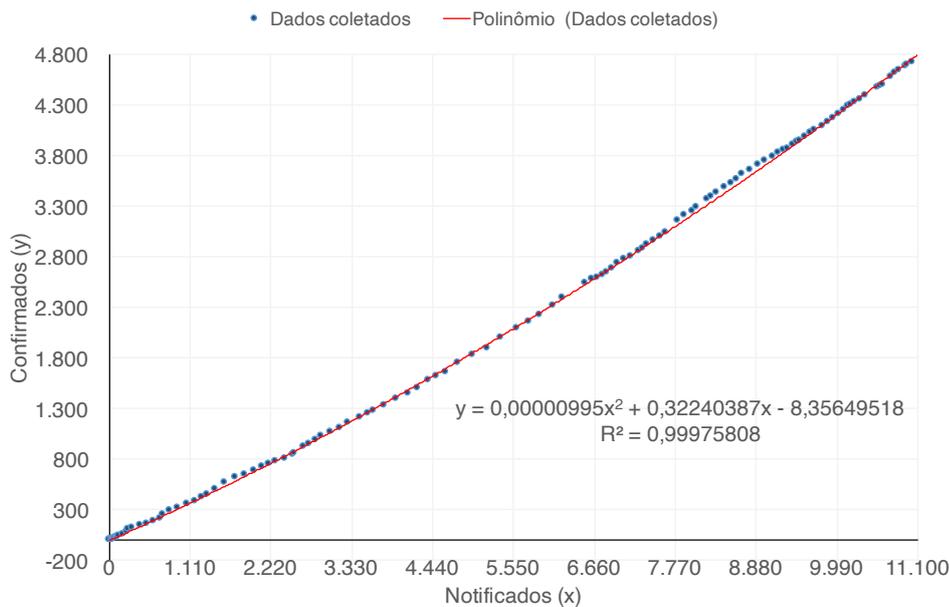
O mesmo processo usado anteriormente foi utilizado para analisar a dependência entre o número de casos confirmados acumulados e o número de óbitos acumulados, uma vez que tais variáveis possuem alto índice de correlação como é possível verificar na Tabela 2. As Figuras 7 e 8 ilustram a dependência de tais variáveis.

Tabela 2: Correlação de Pearson entre as variáveis.

×	Confirmados	Infectados	Óbitos	Recuperados
Notificados	0,9979	0,4652	0,9728	0,9714
Confirmados	1,0000	0,4140	0,9803	0,9837
Infectados	0,4140	1,0000	0,3277	0,2438

Fonte: Produzido pelo autor.

Na Figura 7, executou-se apenas o ajuste polinomial de 1^o grau (reta em vermelho), com as 90 primeiras instâncias, entre as variáveis casos confirmados e óbitos que apresenta um coeficiente de correlação de 0,94482, representando, portanto, uma contundente correlação entre o número de casos confirmados e o número de óbitos.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 6: Polinômio de 2^o grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.

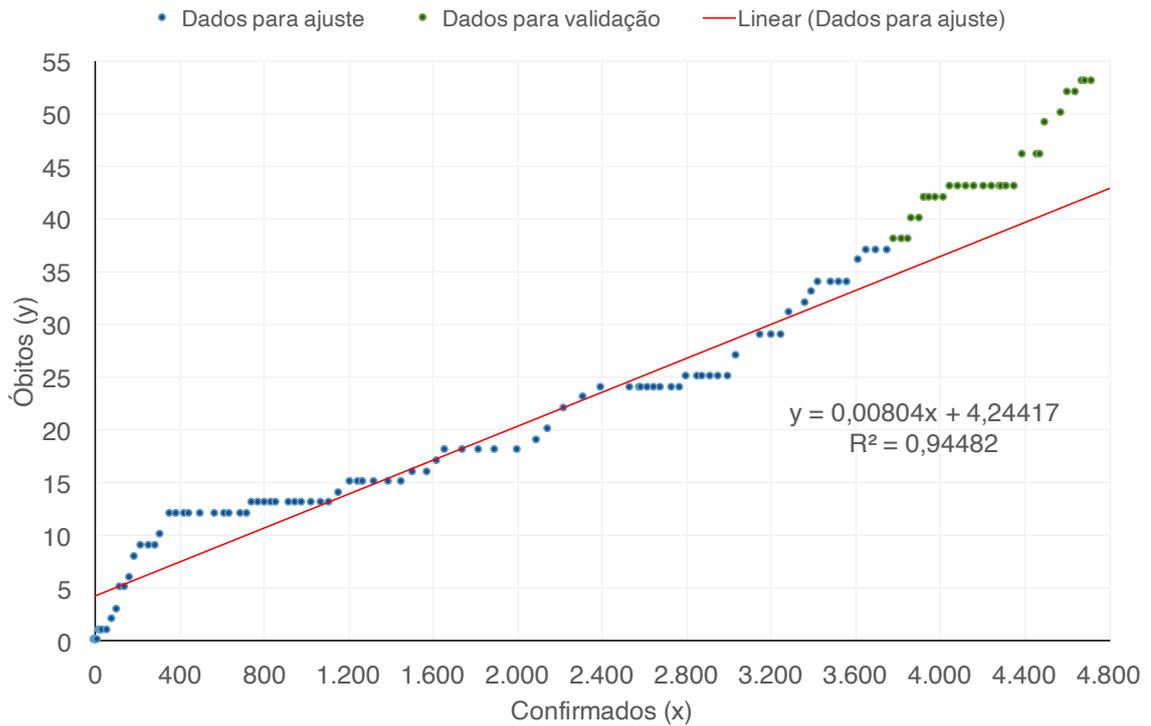
Na Figura 8, efetuou-se apenas o ajuste polinomial de 1^o grau (reta em vermelho), com todas as 120 instâncias, entre as variáveis casos confirmados e óbitos, apresentando um coeficiente de correlação de 0,96105, representando, portanto, uma correlação mais eficaz entre o número de casos confirmados e o número de óbitos em relação ao ajuste realizado com os dados parciais (90 primeiras instâncias).

Como a variação de registros de óbitos é pequena ao passar dos dias, foi feita uma aproximação somente linear. A quantidade pequena de dados e a pouca mudança de variação mostram que ao usarmos todos os dados para um novo ajuste de curva (Figura 8), temos uma mudança significativa no R^2 . Mesmo assim, a curva tem uma ótima predição.

A relação entre número de casos notificados acumulados e número de óbitos acumulados também é vista na Tabela 2. Com efeito, foi realizado um ajuste linear, usando o MMQ, para modelar a dependência dessas variáveis, como é visto nas Figuras 9 e 10.

Nas Figuras 9 e 10, realizou-se apenas o ajuste polinomial de 1^o grau tanto para as 90 primeiras instâncias (ajuste parcial) quanto para todas as 120 instâncias (ajuste total) cuja pequena variação entre os coeficientes de correlação, tanto do ajuste parcial quanto do ajuste total, demonstram que há uma boa correlação entre os casos notificados e o número de óbitos.

A Tabela 1 mostra um comparativo entre os dois ajustes em relação aos dados separados para validação usando a norma 2 para o cálculo do erro (Watkins, 2010) e o *coeficiente de determinação* (R^2) (Morettin, Bussab, 2010). Nota-se que o polinômio de grau 2 tem o menor erro, se aproximando, portanto, mais dos dados separados para

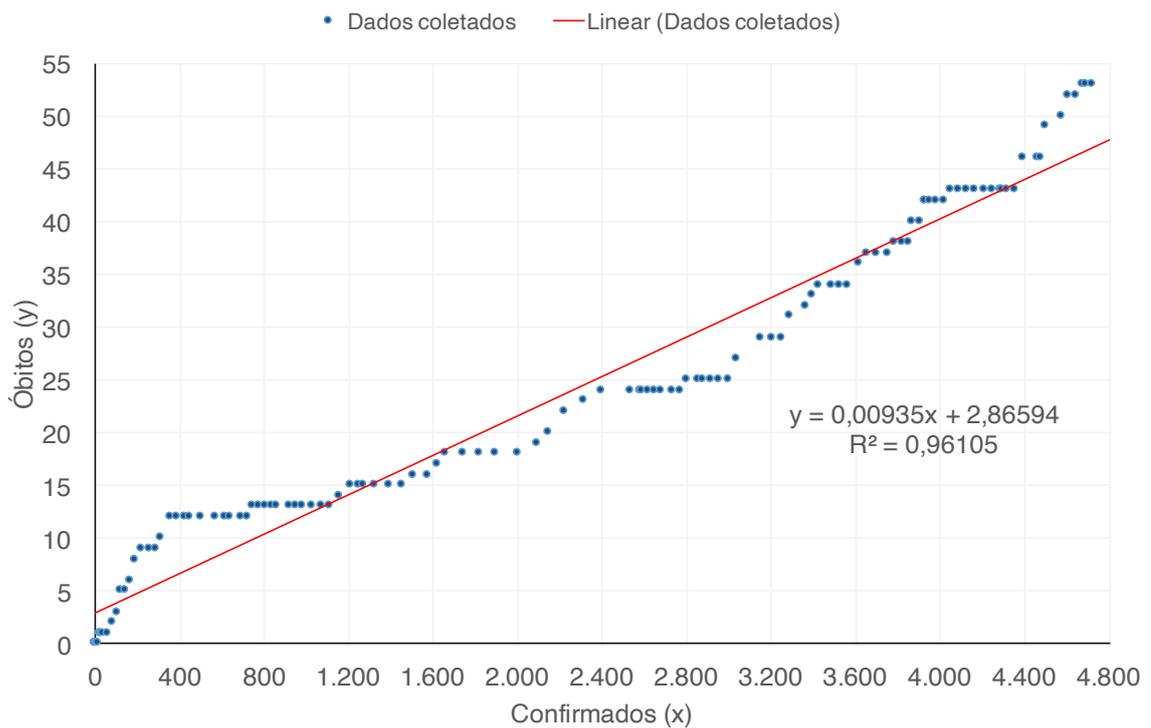


Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 7: Polinômio de 1º grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o MMQ.

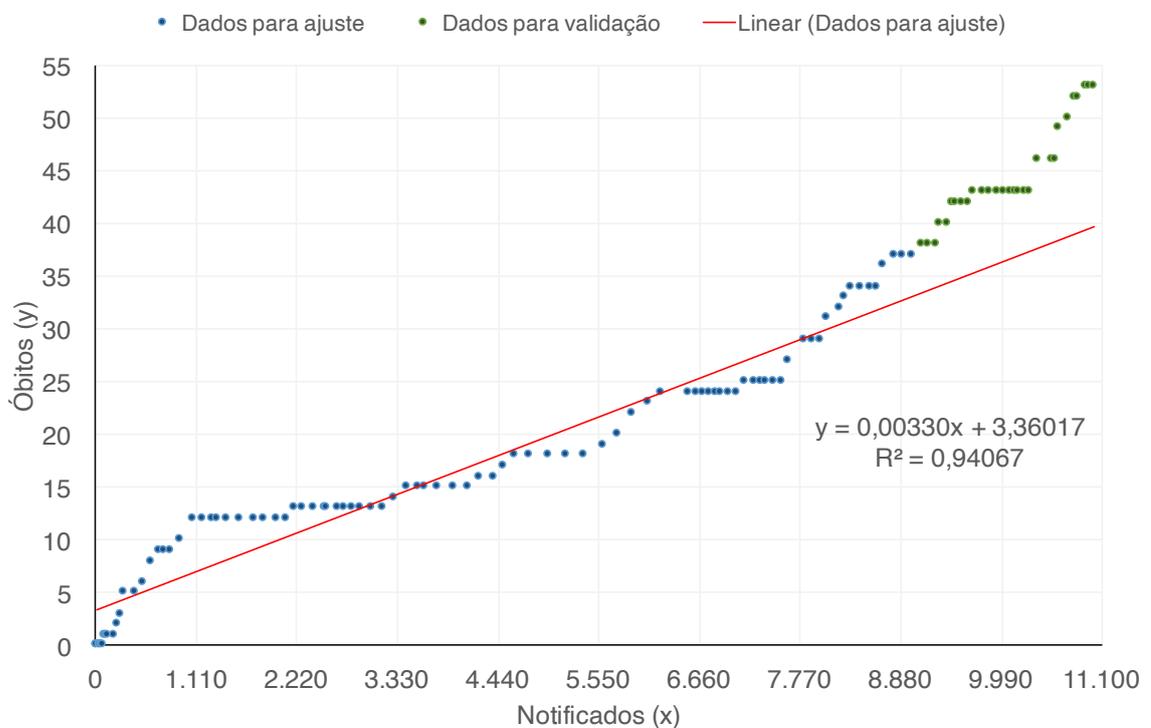
validação e tem o maior R^2 . Essa curva se aproxima mais dos dados separados para o ajuste que o ajuste polinomial do 1º grau.

A Tabela 2 mostra uma análise de correlação entre as variáveis casos notificados, confirmados e infectados versus casos confirmados, número de infectados, óbitos e recuperados entre as variáveis presentes na planilha da Figura 1. Sabe-se que, o coeficiente de correlação igual ou bem próximo de 1 indica um alto índice de correlação entre as variáveis ajustadas.



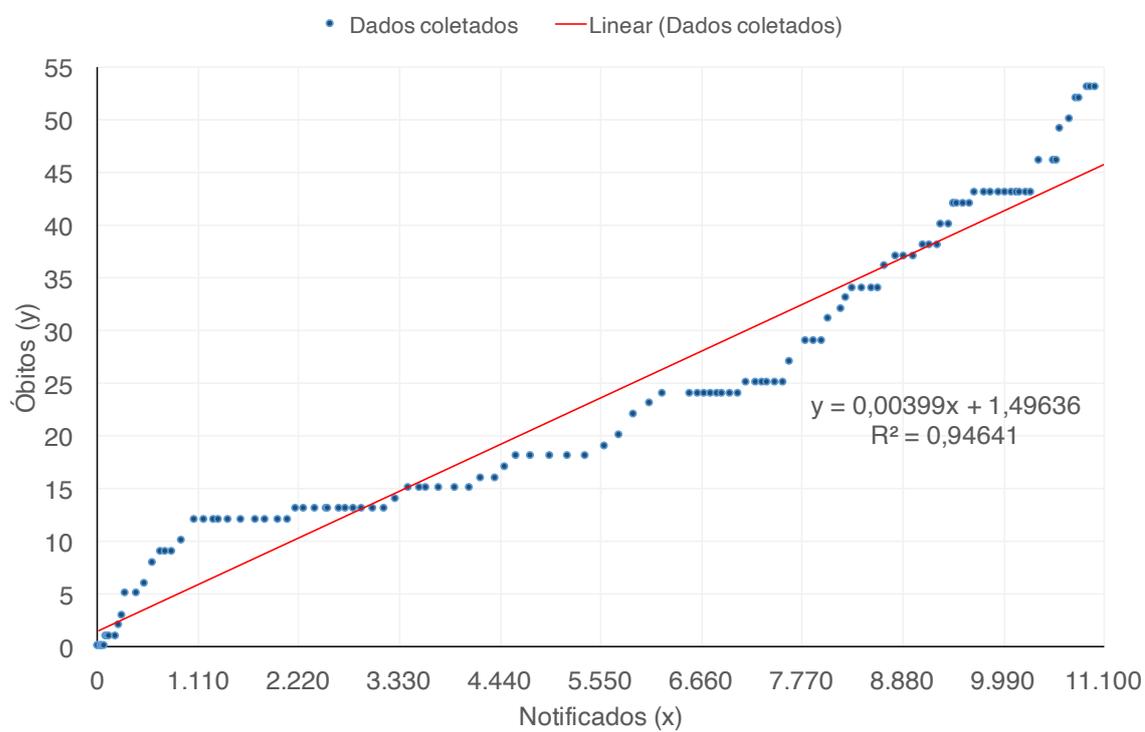
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 8: Polinômio de 1º grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 9: Polinômio de 1º grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados separados para ajuste (pontos azuis) usando o MMQ.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 10: Polinômio de 1º grau (linha vermelha) que melhor se ajusta aos dados coletados (pontos azuis) usando o MMQ.

6 Considerações Finais

O presente trabalho foi desenvolvido a fim de verificar como uma ferramenta matemática (o Método dos Mínimos Quadrados - MMQ) poderia ser empregada para dar uma resposta de qual seria a relação entre o número de casos notificados e casos confirmados de COVID-19, no município de Barra do Corda - MA, através de um ajuste curva.

Dessa maneira, foram realizados dois tipos de ajuste de curva (linear e quadrático), ora com uma parte dos dados e ora com os dados integrais afim de determinar qual o melhor tipo de ajuste utilizou-se o coeficiente de Correlação de Pearson (R^2) que constatou ser mais eficiente para os dados analisados o ajuste polinomial de 2^o grau (ajuste quadrático).

No final de março de 2020 o município de Barra do Corda deu início às primeiras tentativas de isolamento social rigoroso devido a COVID-19 possuir um alto nível de contágio, contudo houve uma divulgação tardia dos primeiros boletins epidemiológicos (somente em maio de 2020) o que dificultou a adoção de medidas mais rígidas para evitar a transmissão do vírus.

A vacinação contra a doença só teve início no ano de 2021. O ano de 2020 é foco desse trabalho devido ser o período mais crucial da pandemia. Os boletins epidemiológicos referentes a esse ano eram emitidos diariamente pela Secretaria Municipal de Saúde de Barra do Corda. A Prefeitura Municipal de Barra do Corda criou uma seção em seu sítio eletrônico dando acesso à sociedade a esses boletins. Posteriormente, esse sítio foi desativado, não sendo mais possível o acesso a estes dados. Os 120 boletins referentes a esse período, constantes em anexo, estão presentes nesse trabalho.

Os boletins epidemiológicos de coronavírus passaram a ser divulgados pela Secretaria de Estado da Saúde do Maranhão a partir de 1^o de outubro de 2020. As informações divulgadas por esses boletins em relação ao município de Barra do Corda eram somente o número de casos confirmados acumulados. Assim, não se tinha informação suficiente para seguir com os objetivos desse trabalho. Notou-se também uma descontinuidade quanto a informação de número de casos confirmados acumulados.

No boletim do dia 1^o/09/2020, emitido pela prefeitura de Barra do Corda, foram registrados 4.716 casos confirmados acumulados de coronavírus no município. No boletim do dia 1^o/10/2020, emitido pelo estado do Maranhão, foram registrados 3.869 casos confirmados acumulados de coronavírus no município de Barra do Corda (Maranhão, 2020). Notou-se perda de informações no momento da mudança de administradora dos dados, pois dados coletados acumuladamente são sempre não decrescentes. Isso impediu que esse trabalho agregasse maiores informações e melhores ajustes.

Com o ajuste linear, obtido na Figura 5, o qual também tem um bom ajuste ao comportamento dos dados, considera-se que a quantidade de casos confirmados é aproximadamente igual a 42,89% da quantidade de casos notificados e que a relação entre

as variáveis número de casos confirmados acumulados e número de óbitos acumulados e entre as variáveis número de casos notificados acumulados e número de óbitos acumulados também foi verificada (ver Tabela 1). Igualmente é possível notar que o número de óbitos representa, aproximadamente, 0,935% do número de casos confirmados e 0,399% do número de casos notificados.

Com base no ajuste executado, que foi mais eficiente para os dados apresentados, atestou-se que os resultados são capazes de auxiliar a Prefeitura do Município de Barra do Corda - MA na tomada de decisões mais assertivas relativas à saúde pública e elaboração de políticas públicas relativas tanto a COVID-19 quanto a outras epidemias.

Esse trabalho foi construído utilizando dados informados pela Secretaria Municipal de Barra do Corda - MA em um período que ainda não haviam sido iniciadas as campanhas de vacinação. Nesse sentido, uma perspectiva do trabalho seria analisar dados após a vacinação e fazer um comparativo com os resultados aqui obtidos. Espera-se que, com o avanço das campanhas de vacinação, os percentuais calculados nesse trabalho sejam menores. O mesmo trabalho poderá ser desenvolvido em outras regiões do estado do Maranhão dando continuidade ao melhoramento das condições sanitárias do estado.

Referências

- ANDERSON, R.M; MAY, R.M. **Population biology of infectious diseases: Part I.** *Nature*, v. 280, p. 361-367, agos. 1979.
- ANDREWS, J. G.; MCLONE, R. R. **Mathematical modelling.** [s.l.] Butterworth-Heinemann, 1976.
- BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática.** 3. ed. São Paulo: Contexto, 2002. 386 p.
- BASSANEZI, R. C. **Modelagem matemática: teoria e prática.** São Paulo: Contexto, 2015. 240 p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **O que é COVID.** Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca#o-que-e-Covid>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.
- BRASIL. Secretaria de Educação Básica. Ministério da Educação. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília, 2006. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/6070782/mod_resource/content/5/T4-OCN_Quimica.pdf. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- CUNHA, J. C. **O método dos mínimos quadrados: uma proposta ao Ensino Médio para o ajuste por retas.** 2014. 73 p. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- GOU, Y. R., Cao, Q. D., Hong, Z. S., Tan, Y. Y., Chen, S. D., Jin, H. J., Tan, K. S., Wang, D.Y., & Yan, Y. (2020). **The origin, transmission and clinical therapies on coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak - an update on the status.** *Military Medical Research*, **7(1)**, 11. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00240-0>.
- LIMA, Elon Lages. **Matemática e Ensino.** 3. ed. Rio de Janeiro: SBM, 2007.
- MARANHÃO. Secretaria de Estado da Saúde do Maranhão. **Boletim epidemiológico COVID-19.** 2020. Disponível em: <https://www.saude.ma.gov.br/wp-content/uploads/2020/10/BOLETIM-01-10.pdf>. Acesso em: 19 de outubro de 2021.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Coronavírus Brasil.** 2022. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em: 12 de agosto de 2023.
- MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica.** 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

- PREFEITURA Municipal de Barra do Corda. [S.l.]. **Transparência Vacinação Covid-19**. 20 jan. 2023. Disponível em: <https://barradocorda.ma.gov.br/transparencia/painel-vacinacao/>. Acesso em: 30 ago. 2023.
- ROONEY, A. **A História da Matemática**: Desde a criação das pirâmides até a exploração do infinito. São Paulo: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2012.
- RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lúcia da Rocha. **Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2. ed. São Paulo: Makron Books do Brasil, 1998.
- SCHUELER, P. **O que é uma pandemia**. 2020. Disponível em: <https://www.bio.fiocruz.br/index.php/br/noticias/1763-o-que-e-uma-pandemia>. Acesso em: 10 de outubro de 2021.
- SECRETARIA Municipal de Saúde. [S.l.]. **Boletim COVID-19**. 2023. Disponível em: <https://barradocorda.ma.gov.br/secretarios/secretaria-de-saude/>. Acesso em: 14 set. 2023.
- SILVA, A. W. J. **O método dos mínimos quadrados como ferramenta na modelagem matemática no primeiro ano do ensino médio**. 2020. 58 p. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Pará, Castanhal, 2020.
- SILVA, F. **O método dos mínimos quadrados: uma proposta ao Ensino Médio para o ajuste por parábolas**. 2014. 74 p. Dissertação (Mestrado em Matemática) – Departamento de Matemática, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- SOUZA, L. P. A pandemia da COVID-19 e os reflexos na relação meio ambiente e sociedade. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Belém, v. 8, n. 4, p. 68-73, ago. 2020.
- STEINBRUCH, Alfredo; WINTERLE, Paulo. **Álgebra Linear**. 2.ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1987.
- STEPHEN, M. Stigler. **The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900**. Belknap: Harvard University Press. 410 páginas.
- TRANSPARÊNCIA, Vacinação Covid-19: Cobertura por doses aplicadas. **Prefeitura Municipal de Barra Do Corda, 20 jan. 2023**. Disponível em: <https://barradocorda.ma.gov.br/transparencia/painel-vacinacao/>. Acesso em: 30 ago. 2023.

WATKINS, D. S. **Fundamentals of Matrix Computations**. 3. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

WERNECK, G. L.; CARVALHO, M. S. A pandemia de COVID-19 no Brasil: crônica de uma crise sanitária anunciada. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 5, e00068820, mai. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Coronavirus disease (COVID-2019) situation reports**. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports>. Acesso em: 11 de agosto de 2023.

Anexos



BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 14 de Maio, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	318	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	07
CASOS DESCARTADOS	84	RECUPERADOS	20
CASOS SUSPEITOS	112	ATIVOS	97
CASOS CONFIRMADOS	122	ÓBITOS	05

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
ALTAMIRA I	38	0	0
TREZIDELA	25	0	0
INCRÁ	16	0	0
CENTRO	10	0	0
COHAB	10	0	0
ARATICUM	03	0	0
PARK ITALIA	02	0	0
VILA MARIANO	02	0	0
ALPHAVILLE	02	0	0
VILA DANTAS	02	0	0
CERÂMICA	02	0	0
JUA	01	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO D. INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 15 de Maio, 17h.

CASOS NOTIFICADOS	432	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	05
CASOS DESCARTADOS	148	RECUPERADOS	20
CASOS SUSPEITOS	142	ATIVOS	117
CASOS CONFIRMADOS	142	ÓBITOS	05

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
ALTAMIRA I	42	0	0
TREZIDELA	35	0	0
INCRÁ	19	0	0
CENTRO	11	0	0
COHAB	11	0	0
ARATICUM	03	0	0
PARK ITALIA	02	0	0
VILA MARIANO	02	0	0
ALPHAVILLE	02	0	0
VILA DANTAS	02	0	0
CERÂMICA	02	0	0
JUA	01	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO D. INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 16 de Maio, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	530	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	06
CASOS DESCARTADOS	224	RECUPERADOS	21
CASOS SUSPEITOS	142	ATIVOS	137
CASOS CONFIRMADOS	164	ÓBITOS	06

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
ALTAMIRA I	44	0	0
TREZIDELA	42	0	0
INCRÁ	23	0	0
CENTRO	14	0	0
COHAB	11	0	0
ARATICUM	03	0	0
PARK ITALIA	02	0	0
VILA MARIANO	02	0	0
ALPHAVILLE	02	0	0
VILA DANTAS	02	0	0
CERÂMICA	02	0	0
VILA ALVORADA	02	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO D. INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 17 de Maio, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	617	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	05
CASOS DESCARTADOS	233	RECUPERADOS	23
CASOS SUSPEITOS	198	ATIVOS	155
CASOS CONFIRMADOS	186	ÓBITOS	08

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
ALTAMIRA I	50	0	0
TREZIDELA	47	0	0
INCRÁ	23	0	0
CENTRO	20	0	0
COHAB	11	0	0
ARATICUM	03	0	0
CERÂMICA	03	0	0
TAMARINDO	04	0	0
ALPHAVILLE	02	0	0
VILA DANTAS	02	0	0
PARK ITALIA	02	0	0
VILA MARIANO	02	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
VILA ALVORADA	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 18 de Maio, 18h.

CASOS NOTIFICADOS	699	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	04
CASOS DESCARTADOS	284	RECUPERADOS	25
CASOS SUSPEITOS	199	ATIVOS	182
CASOS CONFIRMADOS	216	ÓBITOS	09

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
ALTAMIRA I	56	0	0
TREZIDELA	52	0	0
INCRÁ	27	0	0
CENTRO	20	0	0
COHAB	11	0	0
VILA SAMPÃO	08	0	0
CERÂMICA	05	0	0
TAMARINDO	05	0	0
VILA MARIANO	04	0	0
ARATICUM	04	0	0
PARK ITALIA	02	0	0
VILA DANTAS	02	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
VILA ALVORADA	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0
VILA SAMPÃO	02	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 19 de Maio, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	749	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	09
CASOS DESCARTADOS	290	RECUPERADOS	29
CASOS SUSPEITOS	205	ATIVOS	216
CASOS CONFIRMADOS	254	ÓBITOS	09

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
TREZIDELA	68	0	0
ALTAMIRA I	57	0	0
INCRÁ	29	0	0
CENTRO	21	0	0
COHAB	17	0	0
VILA SAMPÃO	09	0	0
TAMARINDO	08	0	0
CERÂMICA	07	0	0
VILA MARIANO	06	0	0
ARATICUM	04	0	0
VILA ALVORADA	04	0	0
VILA SAMPÃO	03	0	0
SÍTIO D. INGLESES	03	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO D. INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 20 de Maio, 20h.

CASOS NOTIFICADOS	834	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	10
CASOS DESCARTADOS	306	RECUPERADOS	29
CASOS SUSPEITOS	244	ATIVOS	246
CASOS CONFIRMADOS	284	ÓBITOS	09

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
TREZIDELA	74	0	0
ALTAMIRA I	65	0	0
INCRÁ	31	0	0
CENTRO	25	0	0
COHAB	18	0	0
TAMARINDO	11	0	0
VILA SAMPÃO	10	0	0
CERÂMICA	07	0	0
VILA MARIANO	06	0	0
ARATICUM	04	0	0
VILA ALVORADA	04	0	0
VILA SAMPÃO	03	0	0
VILA SAMPÃO	03	0	0
SÍTIO D. INGLESES	03	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO D. INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 21 de Maio, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	941	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	10
CASOS DESCARTADOS	307	RECUPERADOS	29
CASOS SUSPEITOS	322	ATIVOS	273
CASOS CONFIRMADOS	312	ÓBITOS	10

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
TREZIDELA	82	0	0
ALTAMIRA I	68	0	0
INCRÁ	35	0	0
CENTRO	30	0	0
COHAB	19	0	0
TAMARINDO	12	0	0
VILA SAMPÃO	10	0	0
CERÂMICA	08	0	0
VILA MARIANO	06	0	0
VILA ALVORADA	06	0	0
VILA NAIR	04	0	0
ARATICUM	04	0	0
SÍTIO DOS INGLESES	03	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO DOS INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

Barra do Corda - MA, 22 de Maio, 20h.

CASOS NOTIFICADOS	1077	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	10
CASOS DESCARTADOS	309	RECUPERADOS	37
CASOS SUSPEITOS	414	ATIVOS	305
CASOS CONFIRMADOS	354	ÓBITOS	12

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
TREZIDELA	85	0	0
ALTAMIRA I	75	0	0
INCRÁ	42	0	0
CENTRO	34	0	0
COHAB	22	0	0
TAMARINDO	13	0	0
VILA MARIANO	12	0	0
VILA SAMPÃO	11	0	0
ARATICUM	05	0	0
VILA ALVORADA	05	0	0
VILA SAMPÃO	04	0	0
VILA SAMPÃO	04	0	0
SÍTIO DOS INGLESES	03	0	0
VILA SAMPÃO	03	0	0
VILA SAMPÃO	03	0	0
ADRIANA E CORDA	02	0	0
JUA	01	0	0
BELA VISTA	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

ZONA RURAL

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
MORADAS R. CORDA	01	0	0
SÍTIO DOS INGLESES	01	0	0
VILA SAMPÃO	01	0	0
ESCONDIDO	03	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0
RESIDENTE EM OUTRO MUNICÍPIO	01	0	0

BOLETIM EPIDEMIOLÓGICO CORONAVÍRUS

ATUALIZAÇÃO 23 DE MAIO, 19h.

CASOS NOTIFICADOS	1183	CONFIRMADOS HOSPITALIZADOS	11
CASOS SUSPEITOS	486	RECUPERADOS	43
CASOS DESCARTADOS	310	ATIVOS	332
CASOS CONFIRMADOS	387	ÓBITOS	12

ZONA URBANA

Localidade	Notificados	Ativos	Óbitos
TREZIDELA	104	0	0
ALTAMIRA I	80	0	0
INCRÁ	47	0	0
CENTRO	38	0	0
COHAB	25	0	0
CERÂMICA	15	0	0
TAMARINDO	13	0	0
VILA SAMPÃO	10	0	0

